БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

М.И. Никитенко

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ИЗЫСКАНИЯ В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Допущено Министерством образования Республики Беларусь
в качестве учебного пособия для студентов специальности
«Архитектура» учреждений, обеспечивающих получение
высшего образования

Минск 2005

Репозиторий БНТУ

УДК 624.131.1
ББК 26.3
Н 64

Рецензенты:
кафедра строительных конструкций, зданий и сооружений
Белорусско-Российского университета (зав кафедрой,
канд. техн. наук, доцент С.Д. Семенюк);
кафедра оснований, фундаментов, инженерной геологии и геодезии
Брестского государственного технического университета
(зав. кафедрой, д-р техн. наук, проф. П.С. Пойта,
канд. техн. наук, профессор П. В. Шведовский)

Никитенко, М.И.

Н 64 Инженерные изыскания в строительстве: учеб. пособ. / М.И. Никитенко. – Мн.: БНТУ, 2005. – 224 с.: ил. 101.

ISBN 985-479-220-X

В учебном пособии, исходя из современных представлений о геологии и Земле, изложен материал по геологическим процессам, грунтоведению, подземным водам с учетом современной концепции экологизации инженерно-геологических исследований. Приведены основные положения по организации инженерно-геологических изысканий с учетом действующих нормативных документов. Отражены региональные инженерно-геологические и гидрогеологические условия, вопросы охраны окружающей среды Беларуси.

Пособие предназначено для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности «Архитектура», также может быть полезным студентам строительных колледжей, инженерам, научным работникам и аспирантам.

УДК 624.131.1
ББК 26.3

ISBN 985-479-220-X

© Никитенко М.И., 2005
© БНТУ, 2005

Репозиторий БНТУ

П р е д и с л о в и е

Учебное пособие предназначено для студентов вузов, обучающихся по специальности «Архитектура». В нем отражены основные темы по разделу «Инженерно-геологические изыскания» общего курса «Инженерные изыскания в строительстве».

В пособии, исходя из современных представлений о геологии и Земле, изложен материал по геологическим процессам, грунтоведению, подземным водам с учетом современной концепции экологизации инженерно-геологических исследований. Приведены основные положения по организации инженерно-геологических изысканий с учетом действующих нормативных документов. Отражены региональные инженерно-геологические и гидрогеологические условия, вопросы охраны окружающей среды Беларуси.

1. ВВЕДЕНИЕ

1.1. Цели, задачи и методологические основы дисциплины

Инженерно-геологические и гидрогеологические условия в значительной мере определяют выбор площадок и территорий для компоновки надземных и подземных объектов. Все здания или сооружения и их фундаменты возводятся в тесной увязке с геологической средой и протекавшими в ней процессами, в том числе с теми, которые могут произойти в ходе строительства и эксплуатации объектов. В современных условиях ни одно здание или сооружение не может быть спроектировано, построено и надежно эксплуатироваться (а впоследствии быть ликвидировано или реконструировано) без достоверных и полных инженерно-геологических материалов.

Сведения о геологической среде служат отправным пунктом градостроительства. Без знания геологических условий застраиваемых площадок и территорий исключено рациональное планирование городов, особенно с учетом их стремительного роста и решения проблем урбанизации. При застройке на самых худших участках пренебрежение геологическими данными наносит серьезный экономический ущерб.

Сложный узел проблем взаимодействия современных объектов с окружающей средой, в том числе с геологической, определяет не-

Репозиторий БНТУ

обходимость для строителей обладать знаниями в инженерной геологии, а для геологов – в строительстве. Нынче только такое «взаимопроникновение» позволяет грамотно и экологично решать все задачи при строительстве, эксплуатации, реконструкции и ликвидации строительных объектов [1-8].

Главная цель инженерных изысканий [5, 6] заключается в изучении природной геологической обстановки местности до строительства, а также прогноз изменений в геологической среде (в грунтах) при строительстве и эксплуатации сооружений.

Все это определяет *основные задачи* изыскательских работ еще до начала проектирования при принятии решения о строительстве и инвестировании объекта:

- выбор оптимального (благоприятного) в геологическом отношении места (площадки, района) строительства данного объекта;
- выявление инженерно-геологических и гидрогеологических условий для определения наиболее рациональных конструкций фундаментов и объекта в целом, а также технологии производства работ;
- выработка рекомендаций по необходимым мероприятиям инженерной защиты территорий, по охране геологической и окружающей среды при строительстве и эксплуатации сооружений.

Устойчивость зданий и сооружений зависит не только от прочности их конструкций, но и от прочности и устойчивости оснований фундаментов [7]. Использование горных пород как грунтов в инженерных целях базируется на знании их свойств и особенностей поведения под нагрузкой от сооружений.

При наличии специализированных изыскательских организаций строители и архитекторы сами не ведут инженерно-геологические исследования. Однако они должны уметь правильно поставить перед геологами задачи и определить требуемый объем инженерных изысканий

По завершению обучения студенты строительных вузов должны получить знания по инженерной геологии, гидрогеологии, грунтоведению, инженерной геодинамике, региональной инженерной геологии. Они должны владеть положениями стандартов и норм по классификации грунтов, инженерным изысканиям для строительства [5, 6, 9,11,12]. инженерной защите территорий и объектов от опасных геологических процессов и др. Они обязаны уметь составить программу и техническое задание на инженерно-геологиче-

Репозиторий БНТУ

ские изыскания, квалифицированно анализировать материалы отчета по изысканиям. Такие знания позволят принимать обоснованные инженерно-строительные решения для обеспечения надежной нормальной эксплуатации зданий и сооружений исходя из оценки долговременного влияния построенных объектов на природную среду.

В настоящее время инженерная геология рассматривается как наука о свойствах горных пород (грунтов), природных геологических и техногенно-геологических (инженерно-геологических) процессах в земной коре применительно к строительной деятельности. Геологическая среда — это верхняя часть земной коры, служащая телом или основанием зданий и сооружений. От характера и степени ее взаимодействия со строительными объектами во многом зависит их надёжность и долговечность.

Инженерные изыскания базируются на знании важнейших законов и понятий по геологии, гидрогеологии, грунтоведению, инженерной геодинамике, региональной инженерной геологии. Они основываются на действующих национальных и межреспубликанских нормативных документах. Строительство и эксплуатация различных объектов всегда вызывает определённые изменения в геологической среде. Без знания закономерностей техногенеза и прогноза его геологических последствий нередко наносится непоправимый ущерб геологической среде, её гидросфере и окружающей среде в целом. Поэтому будущий архитектор должен знать основы инженерной геологии и гидрогеологии, уметь распознавать самые распространенные минералы и горные породы, используемые в качестве природных строительных материалов или облицовочных изделий. Он обязан иметь представление об инженерных изысканиях, уметь прочесть геологическую колонку буровой скважины, геологические разрез или карту, правильно анализировать отчетные материалы по инженерно-геологическим изысканиям, лежащие в основе оценки несущей способности оснований. Будущий архитектор должен знать и верно оценивать важнейшие геологические процессы, в особенности обусловленные динамикой подземных вод, опасность и скорость их развития при строительстве и эксплуатации тех или иных объектов с учетом их взаимного влияния. Он должен быть знакомым с инженерными мероприятиями по предотвращению или локализации опасных процессов, научиться составлять задания на инженерные изыскания.

Репозиторий БНТУ

Читаемый курс лекций по инженерно-геологическим изысканиям включает следующие разделы:

1. Основы общей и инженерной геологии (строение Земли, основные виды породообразующих минералов и горных пород, процессы внутренней динамики Земли, сейсмические явления, геохронология).

2. Геологические процессы и явления на земной поверхности (геологическая деятельность ветра, поверхностных вод, рек, морей, озер, ледников, при горных выработках; оползни, суффозия, карст, просадки, пучение, набухание, плывуны).

3. Инженерное грунтоведение (классификация, физико-механические свойства грунтов и методы их определения).

4. Основы общей гидрогеологии и динамики подземных вод.

5. Инженерно-геологические работы для строительства.

6. Региональные инженерно-геологические и гидрогеологические условия, охрана геологической среды Беларуси.

Курс лекций дополняется практическим занятиями с изучением горных пород, основных породообразующих минералов, построением инженерно-геологических разрезов и карты гидроизогипс, анализом условий строительства на площадке.

1.2. Общие сведения о геологии, инженерной геологии и гидрогеологии

Геология **–** комплекс наук о составе, строении, истории развития Земли, движении земной коры и размещении в недрах Земли полезных ископаемых**.** Основным объектом изучения, исходя из практических задач человека, является земная кора.

Накопление данных о строении Земли началось в глубокой древности. К концу 18-го ст. при большом объеме сведений о Земле и происходящих в ней явлениях сформировалась новая наука – ***геология*****.**

Развитию геологии как науки содействовали труды многих ученых мира. Среди них важную роль играют труды М.В.Ломоносова (1711-1765), шотландского ученого Д.Паттона (1726-1795) и немецкого А.Г.Вернера (1750-1817). М.В.Ломоносов один из первых развил верные представления о длительности развития Земли, о ее строении вопреки господствовавшим представлениям о неизменности всего вокруг человека.

Репозиторий БНТУ

Если 18-й век явился периодом становления геологии как науки, то 19-й – веком развития геологии. В начале 19-го века крупнейший французский естествоиспытатель Ж.Б.Ламарк (1744-1829) и английский геолог Ч.Лайель (1797-1875) выдвинули эволюционную теорию постепенного преобразования Земли.

В выявлении закономерностей распространения различных полезных ископаемых важную роль сыграли работы В.И. Вернадского, А.Е. Ферсмана, А.П. Карпинского, А.Д. Архангельского, И.М. Губкина и др.

Интенсивное развитие геологии привело к накоплению множества фактических материалов, поэтому стали обособляться в самостоятельные научные дисциплины:

минералогия – наука о составе, происхождении и свойствах природных соединений – минералов, слагающих земную кору;

петрография – наука об агрегатах минералов – горных породах, их составе, строении, происхождении и условиях залегания;

динамическая геология – наука о процессах на поверхности и в недрах Земли;

стратиграфия – учение о слоях земной коры;

тектоника – наука, изучающая строение или структуру земной коры в их исторической последовательности;

историческая геология – исследующая историю земной коры от начала ее развития до настоящего времени;

гидрогеология – наука о подземных водах, условиях их залегания, режиме движения;

инженерная геология – наука о геологических условиях строительства различных сооружений и хозяйственного использования территорий. Она рассматривает вопросы использования горных пород в качестве оснований, среды и материала для сооружений, а также процессы, влияющие на устойчивость пород , и ряд других.

В развитии *инженерной геологии* большую роль сыграла деятельность крупного русского ученого – акад. Ф.П. Саваренского. Несомненно большое значение работ К. Терцаги. Существенное развитие инженерная геология получила в трудах русских ученых Н.В. Коломенского, И.В. Попова, В.А. Приклонского, Н.Я. Денисова, Е.М. Сергеева, В.Д. Ломтадзе, Л.Д. Белого, Н.В. Бобкова, Н.Н. Маслова, В.И. Осипова, В.П. Ананьева, В.Т. Трофимова, Г.К. Бондарика, И.С. Комарова, Г.С. Золотарева и др.

Репозиторий БНТУ

В развитии *гидрогеологии* важная роль принадлежит Ф.П. Саваренскому, Г.Н. Каменскому, А.Н. Семихатову, В.С. Илину, О.К. Ланге, А.Ф. Лебедеву и др.

Первый этап становления *инженерной геологии*, как самостоятельной отрасли геологии, относится к концу 18-го века и характеризуется накоплением опыта использования геологических данных для строительства различных объектов, особенно железных дорог в промышленно развитых странах мира, благодаря чему удалось познакомиться с различными геологическими условиями на обширных территориях. Геология стала находить практическое применение в решении конкретных строительных задач.

На втором этапе, во второй половине 20-го века, инженерная геология утвердилась как самостоятельная наука и стала необходимой и неотъемлемой частью строительного производства. Инженеры-строители разработали методики оценки свойств горных пород (грунтов) не только качественно, но и количественно, что особенно важно для проектирования объектов. Появились нормы и технические условия на строительство в различных, порой весьма сложных геолого-климатических условиях и при развитии опасных природных процессов (вечная мерзлота, сейсмические районы, лессовые просадочные грунты, оползнеопасные районы и т.п.). Созданы специализированные инженерно-геологические изыскательские организации, оснащенные необходимым оборудованием, приборами и высококвалифицированными кадрами.

Последняя треть 20-го века явилась важнейшим этапом в развитии инженерной геологии как самостоятельного раздела комплекса наук о Земле, способного решать сложнейшие задачи, обеспечивая строительство объектов в различных условиях.

Сейчас инженерная геология изучает геологическую среду для целей строительства, рационального использования и охраны от неблагоприятных для человека процессов и явлений., что способствует сближению ее с комплексом экологических наук.

Современная инженерная геология базируется на знаниях в области естественных наук, таких как физика, химия, высшая математика, биология, экология, география, астрономия, и прикладных – гидравлика, геодезия, климатология, информатика и др.

Репозиторий БНТУ

Инженерная геология включает три главные самостоятельные, тесно связанные между собой научные дисциплины, изучающие главные элементы геологической среды:

грунтоведение – горные породы (грунты) и почвы;

инженерная геодинамика – природные и антропогенные геологические процессы и явления;

региональная инженерная геология – строение и свойства геологической среды определенной территории.

В состав современной инженерной геологии входят специальные разделы, имеющие уровень самостоятельных наук: ***механика грунтов; механика скальных пород; инженерная гидрогеология; инженерная геофизика; геокриология (мерзлотоведение).*** Интенсивно развиваются ***морская инженерная геология***, а также комплексная дисциплина по ***охране окружающей среды***, основой которой является ***экология***.

Ниже остановимся на некоторых понятиях геологии.

Минералами называются природные химические соединения или самородные элементы, образующиеся в результате естественных физико-химических процессов в земной коре, на поверхности Земли. ***Горные породы*** могут быть по их внешнему виду разделены на: ***скальные*** (гранит, песчаник и т.д.) и ***рыхлые*** (песок, глина и т.д.).

Согласно взглядам Н.А. Цытовича, рыхлые горные породы называются ***грунтами***.

С горными породами и слагающими их минералами человек имеет дело не только при разведке и добыче полезных ископаемых. ***Все, что строит человек, создается на горных породах, в них, либо в той или иной мере из горных пород***.

Инженеры-изыскатели для изучения геологической среды используют методы:

1. Геологический или естественноисторический.
2. Экспериментальный (лабораторные и полевые исследования).
3. Аналогий – по опыту предыдущих исследований.
4. Моделирования (вещественные модели).
5. Расчетно-теоретический.

При изысканиях применяют следующие виды обнажений горных пород (грунтовых напластований): горные выработки, шурфы, штольни, закопушки, буровые скважины.

Репозиторий БНТУ

1.3. Значение данных о горных породах (грунтах), используемых в качестве оснований сооружений и их среды

В зависимости от свойств горных пород (грунтов) возведенные на них сооружения могут испытывать ***осадку*** или ***подъем*** самой разной величины.

Осадка возникает вследствие уплотнения грунтов или их выдавливания из-под фундаментов здания или сооружения. Выдавливание грунта может служить причиной полного разрушения основания, а осадка – не всегда.

Деформации оснований происходят также и от увлажнения лессов или набухающих грунтов, возникновения оползней, землетрясений и т.д.

Важно также знать условия залегания подземных и надземных вод и их приток в строительные котлованы при возведении сооружений. Например, при строительстве некоторых станций метрополитенов в Москве, Минске и других городах расход воды достигал десятков миллионов кубических метров в месяц.

Геологические условия строительных площадок представляют на геологических разрезах с разными вертикальными и горизонтальными масштабами. На них условными обозначениями показывают распределение по глубине тех или иных пород (грунтов) в пределах вертикальных плоскостей, секущих территорию по соответствующим направлениям. На рис. 1 приведены примеры сложений грунтовых оснований.

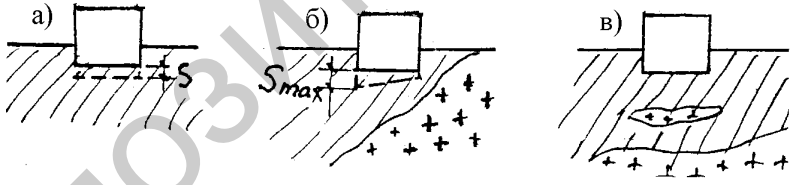

Рис. 1. Сложение грунтовых оснований:
а – однородное; б – неоднородное с наклоном пластов;
в – то же с линзой слабого грунта

2. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ

2.1. Состав и строение земной коры

Репозиторий БНТУ

О происхождении Земли существуют только гипотезы, которые можно разделить на две группы. В основе первой представление о возникновении Земли как тела с большой температурой и дальнейшем ее остывании (Канта-Лапласа). Вторая предполагает о возникновении Земли из тела с малой температурой с последующим разогревом (О.Ю. Шмитдт сформулировал в 1943-44 гг., доложил в 1951 г.). Земля возникла из газового пыльного облака при прохождении через него Солнца. Температура увеличилась от радиоактивного распада элементов.

Форма и размеры Земли

Форма – геоид в виде эллипсоида вращения с поднятиями и опущениями (рис. 2) Размеры в км: полярный радиус 6357, экваториальный 6378, средний 6370.

Атмосфера – воздушная оболочка. Находится в постоянном движении и оказывает колоссальную роль на процессы на поверхности Земли.

Гидросфера – водная оболочка Земли, занимающая примерно 71% ее поверхности и являющаяся очень активным геологическим фактором. Мощность различная, максимально свыше 11 км (Марианская впадина). ***Земная кора - литосфера*** (литос – камень) имеет мощность от 3 до 80 км (в среднем – примерно 50 км). Средняя плотность вещества 2,8 г/см^3. Она неоднородна по составу и имеет ряд слоев (рис. 3):

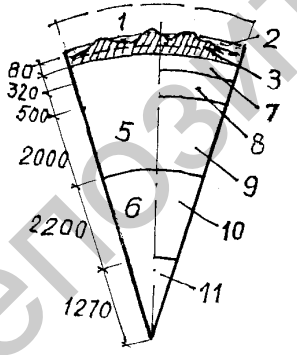

Рис. 2. Схема деления земного шара на геосферы:
1 – атмосфера (21 % кислорода, 78% азота, 1% другие газы);
2 – гидросфера;
3 – земная кора (литосфера);
4 – слой Мохоровичича;
5 – мантия Земли:
6 – ядро Земли;
7 – верхняя зона;
8 – переходная зона; 9 – нижняя зона;
10 – верхняя оболочка; 11 – ядрышко

Исследована земная кора на глубину порядка 8 км, а за последнее время в сверхглубоких скважинах (Кольская – свыше 11 км). Ниже этих глубин оценка производится по результатам сейсморазведки.

Репозиторий БНТУ

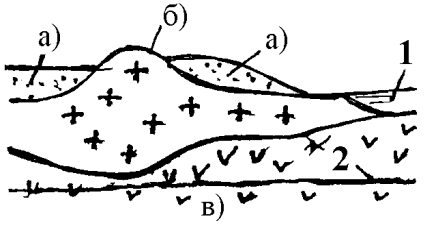

Рис. 3. Строение литосферы:
а – поле осадочных пород;
б – гранитный слой, отделяемый от базальтовой оболочки границей Конрада;
в – базальтовая оболочка:
1 – океан; 2 – слой Мохоровичича

Гранитный слой включает граниты, гнейсы и базальты. Базальтовая оболочка состоит из базальта, оливина и перидотита.

Мантия включает оболочки: а) симатическую (барисферу) – верхнюю мантию с плотностью 2,2-4,5 г/см^3; б) промежуточную с плотностью 5,3-6,6 г/см^3, включающую хрофесиму (от 900 до 1800 км) и нифесиму (от 1800 до 2900 км). О составе мантии судят лишь предположительно. Бурение выполняют с поверхности дна океана, где нет гранитного слоя. Мантия состоит из силикатных пород, примерно как в базальтовом слое, но эти породы находятся в другом состоянии (давление и температура больше).

Ядро имеет плотность 7-11 (9-12) г/см^3, в среднем 8,5 г/см^3), что соответствует стали. Оно тоже неоднородно по составу. На внешней оболочке волны не проходят, т.е. она обладает свойствами жидкости.

Одна из гипотез утверждает, что ядро состоит из элементов типа железа и никеля, а другая – из пород силикатного состава (как мантия и базальтовый слой).

Высокая плотность объясняется колоссальным давлением (порядка 3,5 млн. атм). Вещество находится в своеобразном металлизированном состоянии. Электронные оболочки атомов разрушаются и вещество переходит в своеобразную низкотемпературную плазму с температурой порядка 2000-10000^o (в среднем – 4000^o).

Биосфера (сфера жизни, по определению акад. В.И. Вернадского) – более или менее равномерно распределенный по земной поверхности покров живого вещества (более 500 растений и более 100 организмов и живых существ).

2.1.1. Химический состав земной коры

В земной коре находятся все химические элементы. Впервые попытался установить состав американский ученый Кларк в 80-е годы

Репозиторий БНТУ

19-го столетия. Он собрал анализы горных пород и обработал статистически. Позже были получены уточненные данные о химическом составе земной коры в %: кислород – 46,8; кремний – 27,4; алюминий – 8,7; железо –5,1; кальций – 3,6; натрий – 2,6; калий – 2,6; магний – 2,1; другие – 1,2.

2.1.2. Тепловой режим земной коры

Он определяется влиянием двух факторов: а – солнечной энергией; б – внутренней энергией самой Земли.

На рис. 4 представлены зоны температур в земной коре.

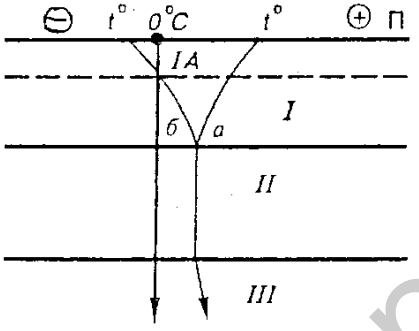

Рис. 4. Распределение температур в земной коре:
I – зона сезонного колебания температур (мощность 12-15 м);
II – зона постоянных температур (10-30 м);
III – зона увеличения температур

Геотермальная ступень – расстояние, на котором температура горных пород увеличивается на 1. Для стран СНГ – примерно равна 33 м. Эта закономерность справедлива до глубины порядка 20 км.

2.2. Породообразующие минералы

Минералами называются природные химические соединения или самородные элементы, образовавшиеся в результате естественных физико-химических процессов в земной коре, на поверхности Земли или прилегающих к ней оболочках. Всего в земной коре имеется более 7000 минералов и их разновидностей, причем породообразующих – 50, а основных из них – 25. Породообразующие минералы входят в состав горных пород. Так например, кварц обязательно является составной частью гранита.

Репозиторий БНТУ

Минералы в земной коре находятся в различных агрегатных состояниях – твердые, жидкие, газообразные. В большинстве случаев минералы имеют соответствующее кристаллическое строение.

Кристаллы – тела в виде многогранников с закономерным расположением кристаллической решетки, т.е. входящие в состав частицы (атомы, ионы, молекулы) располагаются строго периодически. Изучением кристаллов для диагностики минералов занимается ***кристаллография***. Кристаллы имеют ребра, грани, углы между гранями, оси симметрии. Различают 32 вида идеальных форм кристаллов, они объединены в 7 систем: кубическая, ромбовидная, моноклинная и др. Наиболее часто минералы встречаются в виде зерен и агрегатов. Агрегаты бывают: зернистые (ориентированные в разных навправлениях), землитые, друзы (щетки), конкреции, секреции, сталактиты, сталогмиты и др. Некоторые минералы имеют аморфное строение – опал.

Минералы имеют **комплекс физических свойств**: ***твердость, цвет, блеск, цвет черты, взаимодействие с HCl, вкус, спайность, излом, удельный вес***.

Шкала Мооса относительной твердости

1 – тальк (0,03); 2 – гипс (0,04); 3 – кальцит (0,26); 4 – флюорит (0,75); 5 – апатит (1,23); 6 – ортоклаз (25,0); 7 – кварц (40,0); 8 – топаз (152); 9 – корунд (1000); 10 – алмаз (140000). Из них 1-2 являются мягкими, 3-5 – средними, от 5 и далее – тяжелыми.

В скобках пданы значения абсолютной твердости по абразивному методу Розиваля.

2.2.1. Генетическая и химическая классификация минералов

Генетическая – по происхождению (подобно горным породам). Возникшие в земной коре на глубинах – ***эндогенного*** генезиса (кварц), а на поверхности и границе литосферы с гидросферой и атмосферой – ***экзогенные*** (галит). При попадании в зону высоких температур – ***метаморфического происхождения*** (тальк, серпентин, асбест).

Часто употребляют упрощенную классификацию: 1 – минералы первичные (при остывании магмы); 2 – минералы вторичные (видоизмененные).

Химическая классификация Четверикова:

Репозиторий БНТУ

1 – ***силикаты*** (около 800, 75 % массы земной коры. В составе – кремний, кислород, алюминий, железо, калий, кальций, магний, водород):

а) ***полевые шпаты*** (шпат – пластинка). Ортоклазы, микроклин, плагиоклазы (кососкалывающиеся). В пределах этого ряда – лабрадор. Находятся в зоне выветривания и переходят во вторичные;

б) ***мета и ортосиликаты*** (темные силикаты): роговая обманка, авгит, оливин;

в) ***водные алюмосиликаты***: тальк, хлорит, серпентин (змеевик), слюды (мусковит, биотит), глинистые минералы;

2 – ***карбонаты*** (соли угольной кислоты: кальцит, доломит. Вскипают от HCl. Растворимы водой. В известняках возникают карстовые явления);

3 – ***окислы***; 4 – ***гидроокислы***. Это соединения химических элементов с кислородом: а) кварц, халцедон и опал – окислы кремния. Обладают высокой твердостью, стеклянным блеском и неровным изломом;

5 – ***сульфиды*** (около 350, 25% массы земной коры). Пирит и халькопирит. Если много этих включений в горной породе, происходит быстрое разрушение;

6 – ***сульфаты*** (соли серной кислоты: гипс, ангидрит) растворимы водой, возникают карстовые явления. Похожи на карбонаты, но не взаимодействуют с HCl;

7 – ***галлоидные*** (галит, сильвин, всего 100). Сравнительно мягкие, растворимые водой. Соленые на вкус. Характерны карстовые явления;

8 – ***фосфаты***;

9 – ***вольфраматы***;

10 – ***самородные***.

Немного подробнее остановимся на ***глинистых минералах***.

Размер частиц у них менее 0,005 мм. Они образуют каллоидные системы в воде. Обладают большой поверхностью раздела между твердой фазой и воздушной средой. Благодаря этому свойства таких минералов зависят от взаимодействия с окружающей средой, особенно с водой – набухание, усадка, липкость, пластичность. Химический состав можно представить условно: $Al_2O_3.nSiO_2.mR_3O$, где R – одновалентный химический элемент, т.е. из алюмокислородных или кремний-кислородных соединений.

Репозиторий БНТУ

Имеется несколько десятков глинистых минералов, подразделяемых на три группы:

1 – ***каолиниты***. Их кристаллическая решетка неподвижна. Образуются из полевых шпатов. Землистые образования из тонких чешуек;

2 – ***гидрослюды*** – иллит, неустойчивы и переходят в минералы каолинита и монтмориллонита;

3 – ***монтмориллонит*** в виде алюмосиликатных слоев и кремнийорганических пакетов соединений с молекулой воды. Образуются из полевых шпатов в условиях щелочной среды и имеют наиболее подвижную кристаллическую решетку.

2.3. Горные породы

Представляют собой агрегаты минералов. Могут состоять из одного минерала – мономинеральные или из нескольких – полиминеральные.

Найдено и изучено свыше 1000 различных горных пород в земной коре. Они обладают различной прочностью: гранит плотный и прочный, песок рыхлый обладает малой прочностью.

Основными признаками, на которых может быть построена классификация горных пород, являются минеральный и химический состав, структура, условия (формы) залегания и генезис (происхождение). Свойства пород в решающей мере определяются их происхождением (генезисом). Рассмотрим генетическую классификацию.

1. Магматические (изверженные): а – глубинные, б – излившиеся.

2. Осадочные: а – химические, б – механические (обломочные), в – органогенные, г – смешанные.

3. Метаморфические: а – контактового, б – регионального метаморфизма.

2.3.1. Магматические породы

Образовались в результате процесса магматизма, под которым понимают внедрение магмы в земную кору и излияние на поверхность и другие сопутствующие процессы.

Репозиторий БНТУ

Магма – сложный по составу силикатный расплав, обогащенный парами воды и различными газами. Его температура – 1000-1500°. Этот силикатный расплав внедряется в земную кору и изливается на поверхность в виде ***лавы***.

Процессы излияния можно объяснить по разному в зависимости от теорий возникновения Земли.

Большинство ученых считают, что сплошного океана магмы не существует. Очаги магмы возникают при срезком понижении давления и деформациях земной коры.

Породы глубинные отличаются по внешнему виду от излившихся. Это объясняется условиями их образования. Характерны образцы гранита и вулканического стекла.

Глубинные породы остывают в земной коре сравнительно медленно (тысячи и миллионы лет), поэтому все минералы в составе магмы образуют кристаллы.

Излившиеся породы образуются за счет быстрого остывания магмы на поверхности, поэтому не все минералы образуют кристаллы и создается стекловидная масса.

При изучении всех пород надо обращать внимание на структуру и текстуру.

Структура – строение породы, обусловленное степенью ее кристалличности, величиной, формой и взаимным расположением кристаллов.

Для глубинных пород характерна полнокристаллическая структура, которая может быть равномернозернистая и неравномернозернистая (порфировидная).

По размеру зерен различают: мелкозернистая (менее 2 мм); среднезернистая (2-5 мм); крупнозернистая (более 5 мм).

Излившиеся имеют неполнокристаллическую структуру (часть – стекла, часть – кристаллы). Разновидностью является порфировая структура (габбро и сиенит).

Структура стекловатая (нет кристаллов) характерна для вулканического стекла (обсидиана).

Текстура – сложение породы, обусловленное расположением ее составных частей: массивная, пористая, слоистая, полосчатая и т.д.

Глубинные породы имеют массивную текстуру, излившиеся – чаще пористую и массивную.

Репозиторий БНТУ

При изучении магматических пород обращают внимание на *трещины отдельности*. Они образуются при остывании массива магматических пород и расчленяют породу на отдельные блоки.

Для каждого вида магматических пород характерны свои отдельности и блоки: гранит – отдельные плиты (плитчатость); диорит – шаровидные отдельности; базальт – отдельные шестигранные столбы.

Могут образовываться пещеры. Примеры: Фингалова пещера на острове Стаффа, в Армении, Забайкалье и др.

Формы залегания магматических пород

Магматические породы могут залегать на больших глубинах, достигая нескольких тысяч км. В Беларуси выход на поверхность имеется только в районе г. Микашевичи. Исходя из характера излияния подразделяют формы залегания магмы на глубинные и излившиеся (рис. 5).

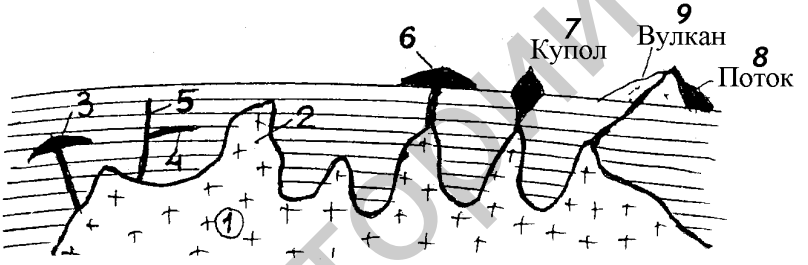

Рис. 5. Виды форм залегания магматических пород

Для глубинных:

1) баталит – массив направленной формы, имеет в поперечнике 10-100 км;

2) шток – ответвление от баталита меньших размеров;

3) лакколит – по трещинам внедряется в поверхностные слои пород. Часто лакколиты выходят и на поверхность пород (Медвежья гора – Аю Даг в Крыму);

4, 5) жилы – пластовые и секущие.

Для излившихся:

6) покров – размеры в плане переменные, мощность от нескольких метров до нескольких километров;

Репозиторий БНТУ

7) купол – изливается на поверхность с ориентацией по вертикали;
8) поток – изливается из вулкана;
9) вулкан – ширина больше длины.

Классификация магматических пород

В основу классификаций положены: их химический состав; условия образования; время образования; минералогический состав.

Знать надо основные из них, а производные не обязательно.

По содержанию SiO_2 различают:

1. ***Кислые*** ($SiO_2 > 65\%$)

Глубинные	Излившиеся аналоги	
	Древние (палеотипные)	Новые аналоги (кайнотипные)
гранит	**кварцевый порфир**	**липарит**

Минералогический состав: кварц, полевой шпат (ортоклаз) и кислые (плагиоклазы), слюда, роговая обманка. Это светлые породы, сравнительно легкие $\gamma = 28$ кН/м^3.

2. ***Средние*** (SiO_2 – 65-55%)

а) **сиенит** **бескварцевый порфир** **трахит** (от слова «шероховатый»).

Минералогический состав: соответствует кислым, но без кварца. Имеют светлые тона, но несколько темнее.

б) **диорит** **порфирит** **андезит**

Минералогический состав: полевые шпаты (преимущественно плагиоклазы), роговая обманка, слюда, авгит.

3. ***Основные*** (SiO_2 – 45-55%)

габбро	**диабаз**	**базальт**
(лабрадорит)		

Минералогический состав: полевые шпаты, плагиоклазы, роговая обманка, авгит, оливин. Породы темные, темносерые, темнозеленые, почти черные $\gamma = 30$ кН/м^3.

4. ***Ультраосновные*** (SiO_2 – 45-55%)

пироксенит	практически не встречается
перидотит (дунит)	

Минералогический состав: авгит (пироксенит), оливин (перидотит).

5. Породы излившиеся с переменным минералогическим составом

Репозиторий БНТУ

пемза, вулканическое стекло (обсидиан), лавы (вулканические туфы)

По минералогическому составу примерно соответствуют кислым и средним.

2.3.2. Осадочные породы

Занимают в земной коре около 5% массы, до 75% поверхности Земли.

Строители имеют дело в преимущественно с осадочными породами (*грунтами*).

Осадочные породы образуются из пород магматических или метаморфических при их разрушении или выветривании. Осадочные породы (грунты) обладают в большинстве высокой пористостью и целым рядом особенностей. Их классифицируют на *химические, механические (обломочные) органогенные и смешанные*. Классификация обломочных пород (грунтов) приведена в табл. 1.

Таблица 1

Структура	Диаметр, мм	рыхлые		цементированные	
		окатанные	неокатанные	окатанные	неокатанные
Грубообломочная	200	валуны	глыбы	конгломераты	брекчии
	200-500	галька	щебень		
	50-20	гравий	дресва		
Песчаная	2-1	песок	грубый	песчаник	песчаник грубозернистый
	1-0,5	песок	крупный	песчаник	песчаник крупнозернистый
	0,5-0,25	песок	средний	песчаник	псчаник среднезернистый
	0,25-0,15	песок	мелкий	песчаник	мелкозернистый
Пылеватая	0,15-0,05	песок	пылеватый	алевролит	
	0,05-0,005	лёсс			
Глинистая	<-0,005	глина		аргиллит	

Комплекс природных условий, в которых образуются осадочные породы (грунты) принято называть ***фациями***.

Основные фации таковы: *континентальные, морские, лагунные*.

В образовании пород различают несколько стадий:

1 – возникновение исходного материала (***гипергенез***);

2 - накопление и перенос этого материала (***седиментация***);

Репозиторий БНТУ

3 - превращение его в горную породу (***диагенез***) с ее упрочнением и уплотнением;

4 – дальнейшее изменение осадочной породы (***катагенез***).

Химические и органогенные осадки

Известняки и **доломиты**, **известковые туфы**. **Трепел** и **диатомит** – породы морского происхождения.

2.3.3. Метаморфические породы

Эти породы возникли из пород магматических или осадочных путем их изменения под воздействием различных факторов (высокие давление и температура, газовые компоненты). Процессы в земной коре, в результате которых возникают метаморфические породы, называются ***процессами метаморфизма***.

Породы ***контактового метаморфизма*** образовались при внедрении магмы в земную кору при высокой температуре на контакте.

Породы ***регионального метаморфизма*** возникли в подвижных зонах земной коры, называемых геосинклиналями, в больших масштабах при высоких давлениях.

Динамоморфизм – образование горных пород происходит в результате большого давления при действии деформаций земной коры (тектонические движения).

По своей *структуре* эти породы – кристаллические. Для них более характерна *текстура*: ***массивная, сланцеватая, полосчатая, плойчатая***.

При изучении горных пород важно иметь представление как о первичной, так и о вторичной слоистости (рис. 6). За счет повышенного давления (10-1000 МПа) и перегруппировки минералов появляются трещины, а при движении под углом по отношению к первичной возникает вторичная слоистость (кливаж).

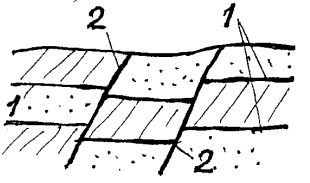

Рис. 6. Виды слоистости горных пород:
1 – *первичная слоистость*;
2 – *вторичная слоистость* (*кливаж*)

Репозиторий БНТУ

Гнейс – гнилой камень, **сланцы** различают по преобладанию минералов, дающих им наименования: **тальковые**, **глинистые**, **слюдяные**, **хлоритовые** и т.д.

Массивная текстура характерна для **кварцита** и **мрамора**.

При изучении метаморфических пород обязательно надо ставить вопрос, из какого же минерала или породы они произошли (табл. 2).

Таблица 2

Зона выветривания	Зона цементации	Зона метаморфизма
Песок	Песчаник	Кварцит
Известняк	Полукристаллический известняк	Мрамор

Метаморфические породы по внешнему виду и условиям залегания занимают промежуточное положение между магматическими и осадочными. По минеральному составу они ближе к магматическим породам. Типичными минералами являются слюды, кварц, хлорит, тальк. Эти породы при образовании из магматических более или менее сохраняют их первоначальную форму залегания. При метаморфизации осадочных пород слоистость сильно деформируется.

Наиболее прочными и устойчивыми являются гнейсы и кварциты. Сланцы имеют различную прочность. Свойства сланцев отличаются анизотропией, причем самые низкие имеются у слюдяных. При наличии в составе биотита весьма сильно проявляется выветривание. На склонах возникают осыпи и другие процессы.

Технические каменные материалы происходят в результате техногенной деятельности человека при строительном производстве и в известной мере являются аналогами природных горных пород. К ним относятся керамические изделия: бетон, абразивы, стёкла, различные огнеупоры (шамот, динас и др.), шлаки, цементы и др. Шамот, динас, керамика и цементный клинкер образуются примерно в таких же условиях, как метаморфические породы; доменные шлаки, глиноземистый цемент, различные стёкла, абразивный корунд формируются как излившиеся магматические породы; бетон и силикатный кирпич – как сцементированные осадочные породы. Большинство из них имеет силикатный состав.

Репозиторий БНТУ

Прочностные и иные физико-механические свойства многих технических каменных материалов не уступают природным, а порой достигают более высоких значений.

2.4. Основы геологической хронологии земной коры

Историю и общие закономерности развития и образования земной коры изучает ***историческая геология***. Для этого используют геологические «документы» в виде толщ пород, которые характером своих напластований, остатками ископаемых организмов свидетельствуют об этапах развития земной коры.

Возраст горных пород устанавливают для оценки их свойств и определения положения среди других пород. Вся геологическая документация, в частности геологические карты и разрезы, требует применения возраста пород. Различают абсолютный и относительный возраст горных пород.

Абсолютный возраст – это продолжительность существования («жизни») породы, выраженная в годах. Его определяют методами, основанными на использовании процессов радиоактивных превращений в некоторых химических элементах (уран, калий, рубидий и др.), входящих в состав пород. С помощью одних элементов устанавливают возраст в миллионах лет, другие позволяют вычислить более короткие отрезки времени. По количеству образования свинца из 1 г урана в год находят абсолютный возраст минерала и породы, в которой он имеется, в миллионах лет. По углероду ^{14}C с периодом полураспада 5568 лет устанавливают возраст более молодых образований. Абсолютные значения возраста горных пород приведены в хронологической шкале (табл. 3).

Относительный возраст определяют по отношению друг друга. При этом используют два метода: *стратиграфический* и *палеонтологический*.

Стратиграфический метод применяют для толщ с ненарушенным горизонтальным залеганием слоев (рис. 7). При этом нижележащие слои считают древнее вышележащих. Этот метод не используют при залегании слоев в виде складок.

Из рис. 7,а видно, что самым молодым является верхний слой 3, самым древним – нижний 1. На рис. 7,б показан выход на склон

Репозиторий БНТУ

рельефа слоев, смятых в складки. Видно, что более древние слои 1 и 2 лежат на более молодом слое 3.

Таблица 3

Эоны (эоно-темы)	Эры (эратемы)	Периоды (системы)	Индексы периодов	Типичные организмы	Абсолютный возраст млн. лет
Неохрон (фанерозой)	Кайнозойская Kz	Четвертичный	Q	Человек, млекопитающие, цветковые растения	1,5-2
		Неогеновый	N		90-95
		Палеогеновый	T		
	Мезозойская Mz	Меловой	K	Головоногие моллюски, пресмыкающиеся	550-570
		Юрский	J		
		Триасовый	T		
	Палеозойская Pz	Пермский	P	Амфибии и споровые	600-620
		Каменноугольный	C		
		Девонский	D	Рыбы, плеченогие.	400-410
		Силурийский	S	Первые беспозвоночные	>1500
		Ордовикский	O		
		Кембрийский	Є		
Палеохрон (криптозой)	PR AR	-	-	-	-
Планетарная стадия Земли					

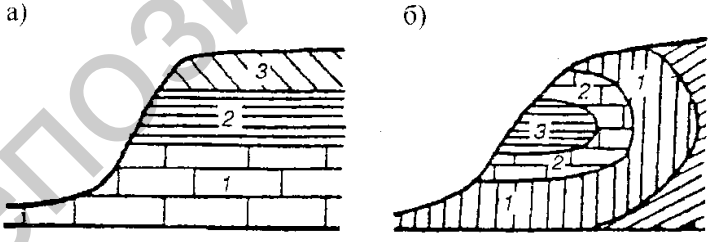

Рис. 7. Залегание слоев:
а – горизонтальное, б – в виде складок

Репозиторий БНТУ

Палеонтологический метод позволяет определять возраст осадочных пород по отношению друг другу независимо от характера залегания слоев и сопоставлять их возраст на различных участках. В основу метода положена история постепенного развития органической жизни на Земле. Остатки вымерших организмов захоронялись в тех осадках, которые накапливались в период их жизни.

Зная последовательность и период жизни вымерших организмов, по их остаткам определяют относительный возраст осадочных пород.

Шкала геологического времени Земли. Путем раздела геологического времени на отрезки создана геохронологическая шкала. Для слоев пород, образовавшихся в эти отрезки времени, предложены их названия и создана стратиграфическая шкала (табл. 4).

Таблица 4

Геохронологическая шкала	Стратиграфическая шкала слоев пород
Эон	Эонотема
Эра	Эратема (группа)
Период	Система
Эпоха	Отдел
Век	Ярус

Самый длительный отрезок времени – ***эон***. Толщу, оборазованную за это время из слоев пород, называют ***эонотемой***. Самый короткий отрезок – ***век***. Образованную в течении века толщу называют ***ярусом***. Каждый отрезок времени получил наименование и обозначение в виде индекса (табл. 3), а на геологических картах – свою окраску. Современный четвертичный период имеет индекс Q, на геологических картах обозначен серо-зеленым цветом. Самый древний период – кембрийский.

Периоды делят на ***эпохи*** (***отделы***). Например, триасовый период подразделяют на нижнюю (T_1), среднюю (T_2) и верхнюю (T_3) эпохи. Каждую эпоху разделяют на ***века*** (***ярусы***). Например, K_2^{dat} читается как меловой период, верхняя эпоха, датский век. Верхний индекс дает наименование века. Современный четвертичный период имеет деление на эпохи, обозначенные римскими цифрами – Q_I , Q_{II}, Q_{III}, Q_{IV}. Кроме того, перед индексом Q ставят знаки, обозначающие генезис (происхождение) пород, например, aQ_{III} – породы аллюви-

Репозиторий БНТУ

ального (речного) генезиса, eoQ_{II} – эолового (ветрового) генезиса, mQ_I – морского происхождения и т.д.

Инженеры-строители и архитекторы должны знать, что понимают под возрастными индексами горных пород (грунтов), и использовать это в своей работе: чтении геологической документации (карт, разрезов) при проектировании зданий и сооружений.

2.5. Процессы внутренней динамики Земли

2.5.1. Тектонические движения

Процессы внутренней динамики (эндогенные процессы) можно подразделить на:

1 – ***магматизма;***

2 – ***метаморфизма*** (большие давления и температура);

3 – ***тектонические***.

Все они тесно связаны друг с другом и взаимно влияют.

Движения земной коры, вызывающие её деформации и изменение залегания пород, называются тектоническими процессами. Их можно разделить на три основных типа:

- *колебательные*, выражающиеся в медленных поднятиях и опусканиях отдельных участков земной коры и приводящие к образованию крупных выпуклостей и прогибов;

- *складчатые*, обусловливающие смятие горизонтальных слоев земной коры в складки без их разрыва;

- *разрывные*, приводящие к разрывам слоев и массивов горных пород.

Колебательные движения. Отдельные участки земной коры на протяжении многих столетий поднимаются, другие в это же время опускаются с их изменением наоборот со временем. Различают такие виды колебательных движений земной коры: 1 – прошедших геологических периодов; 2 – новейшие, связанные с четвертичным периодом; 3 – современные, вызывающие изменение высот поверхности земли в данном районе.

Складчатые дислокации. Осадочные породы (грунты) первоначально залегают горизонтально или почти горизонтально. Это сохраняется даже при колебаниях, однако чаще происходит смятие этих слоев в складки или их наклон. Под дислокациями понимают

Репозиторий БНТУ

вторичные формы залегания горных пород. Все формы складчатых дислокаций (рис.8) образуются без разрыва сплошности слоев (пластов). Породы в вершинах складок всегда бывают трещиноваты, а иногда даже раздроблены. *При первичном* (ненарушенном) залегании осадочных пород их расположение не меняется и остается таким же как при формировании.

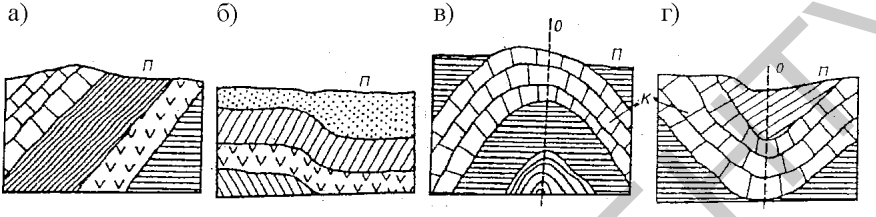

Рис. 8. Складчатые дислокации:
а – моноклиналь; б – флексура; в – антиклиналь; г – синклиналь;
О – ось складок; П – поверхность земли

Разрывные дислокации. При интенсивных тектонических движениях происходят разрывы сплошности пластов. Порой дислокации определяются сложно, т.к. все вместе образуются поочередно. На территории Беларуси новейшие дислокации не образуются, но старые встречаются. Примером может служить Припятский грабен (рис. 9), в верхней зоне которого очень много отложений морского происхождения.

К разрывным дислокациям относятся (рис. 10) ***сбросы, взбросы, сдвиги, грабены, горсты, надвиги.*** Озеро Байкал – грабен.

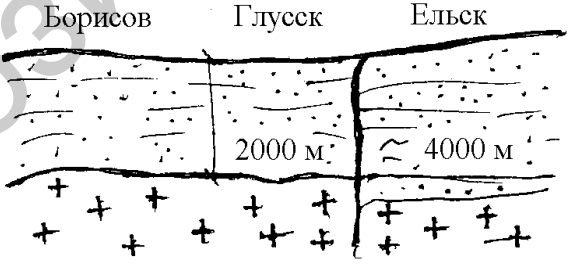

Рис. 9. Припятский грабен

Репозиторий БГПУ

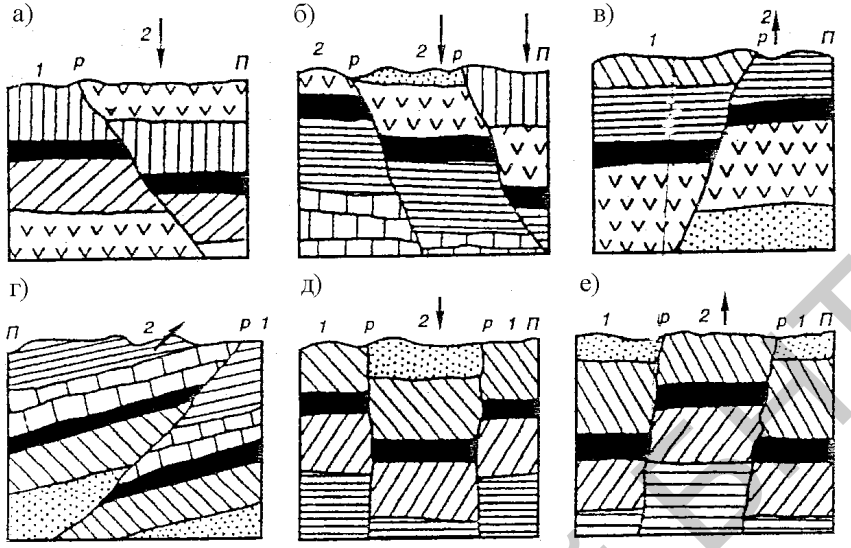

Рис. 10. Разрывные дислокации:
а – сброс; б – ступенчатый сброс; в – взброс; г – надвиг; д – грабен; е – горст;
1 – неподвижная часть толщи; 2 – смещаемая часть; П – поверхность земли;
р – разрыв слоев

2.5.2. Значение дислокаций для строительства

В тектонических районах возникает ряд трудностей при строительстве. Инженерно-геологические исследования в таких районах надо проводить очень тщательно и выявить:

1 – формы тектонических дислокаций;

2 – зоны трещиноватости горных пород;

3 – пространственное расположение пластов (***согласное, несогласное их залегание, поворот пластов***), что особенно важно для условий строительства (рис. 11).

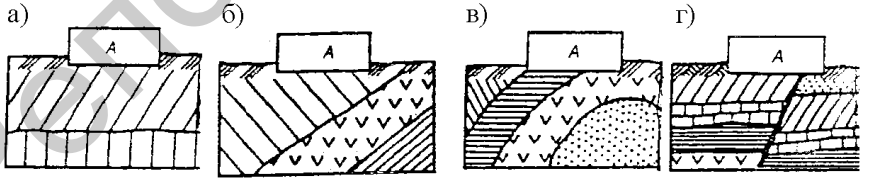

Рис. 11. Случаи геологического строения строительных площадок:
а – благоприятное; б – малоблагоприятное; в, г -весьма неблагоприятные: А – здание

Репозиторий БНТУ

Для строительства самыми благоприятными условиями являются горизонтальное залегание слоев, большая их мощность, однородность состава и увеличение прочности по глубине. При расположении зданий и сооружений на однородных грунтах возникают предпосылки для равномерной их сжимаемости и наибольшей их устойчивости.

В зонах дислокаций нарушается однородность грунтов оснований, образуются зоны дробления, по разрывным трещинам происходят смещения, циркулируют подземные воды, уменьшается прочность грунтов. В синклинали трещиноватость пород всегда меньше чем в антиклинали. Для разрывных дислокаций характерны трещиноватость и неравномерные осадки фундаментов, велика вероятность оползней. При отрывке котлована возможен внезапный подток воды в него и взвешивание со смещением или оплыванием грунтов.

При строительстве Волгоградской плотины исследованиями ее створа обнаружили сбросовую трещину в основании. Было решено перенести створ в другое место.

2.5.3. Элементы строения земной коры и ее колебательные движения

По характеру тектонических движений земная кора может быть разбита на 2 области, которые принято называть:

1 – ***платформы***;

2 – ***геосинклинали*** (земные впадины).

Беларусь находится на устойчивом участке земной коры – платформе.

Платформы (рис. 12) представляют из себя малоподвижные, устойчивые участки земной коры, для которых характерны в основном вертикальные колебания.

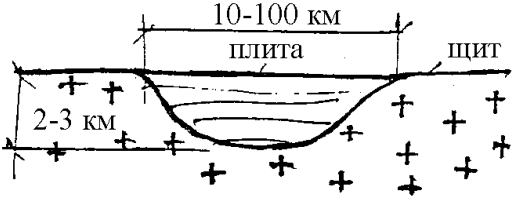

Рис. 12. Схема платформы

Репозиторий БНТУ

Кристаллический фундамент платформы неровный. Впадины в нем – синклинали, поднятия – антиклинали. Амплитуда колебаний на платформе достигает 2-3 км. Сами платформы имеют большие размеры – 10-100 км.

Выходы кристаллического фундамента на поверхность земли носят название ***щиты***.

На Русской платформе имеется 2 выхода – Украинский и Балтийский щиты.

Плита представляет собой комплекс осадочных отложений различных возраста и происхождения. В плите чередуются морские и континентальные отложения. Море отступает и наступает, т.е. платформы претерпевают колебания: поднятия и опускания – ***трансгрессия моря***.

Для платформ в основном характерны сравнительно медленные вертикальные колебания. Такие колебания наблюдаются в настоящее время на платформах: в Голландии, Франции, Севастополе. Город Баку за 800 лет поднимался и опускался на 16 м (амплитуда). Интенсивность поднятия Скандинавии – 1 см/год.

Геосинклинали – сравнительно узкие вытянутые участки земной коры. Это – область интенсивного накопления осадков, которые превращаются в высокие горы (академик Наливайко). Они претерпели несколько этапов развития:

1. Наиболее часто это – моря. Интенсивное накопление осадков (мощность – 15-20 км). Прогибы происходят на море. Часто сопровождаются подземными извержениями. Пример – Средиземное море.

2. Геосинклинали превращаются в горную систему, а море отступает. Очень часто возникает вулканическая деятельность. Толща осадочных пород сминается в складки. Для геосинклиналей характерны интенсивные вертикальные колебания и горизонтальные смещения. Пример – Карпаты, Кавказ.

3. Происходит разрушение гор (Уральские горы).

Существуют теории, что платформы растут за счет развития геосинклиналей. Один миллиард лет назад Земля была очень подвижна. Неотектонические движения приурочены к геосинклиналям.

2.5.4. Геотектонические гипотезы

Репозиторий БНТУ

Объяснить процессы внутри Земли очень трудно, поэтому имеются только гипотезы. В настоящее время их – множество [1, 2].

Первая группа гипотез объясняет движения земной коры внешними причинами (процессами). Очень популярна гипотеза изостатической компенсации: считается, что материковые плиты вдавливались в магму при большой температуре.

Вторая группа – объясняет движения земной коры внутренними причинами, т.е. изменениями состояния самой земной коры. Согласно контракционной (сжатия) гипотезе, Земля имеет очень большую температуру. Сперва появилась корка, а теперь происходит дальнейшее охлаждение (как лимон, апельсин).

Согласно *гипотезе Белоусова*, тектонические движения связаны с радиоактивным распадом элементов в мантии. Исходит из происхождения Земли как тела с малой температурой. Процесс радиоактивного распада очень интенсивно протекает на глубине до 700 км. За счет этого явления происходит дифференциация веществ: легкие поднимаются вверх, тяжелые опускаются вниз.

По *теории Бейчера-Обручева* (пульсационной) Земля в определенные периоды времени сжималась, а в иные расширялась, что приводило к возникновению гор и разломов. Считают, что в настоящее время Земля находится в процессе интенсивного сжатия.

В соответствии с гипотезой Громова, тектонические движения связаны с изменением скорости вращения Земли в результате того, что Солнечная система вращается вокруг центра системы масс галактики. Это хорошо объясняет циклы горообразования.

2.6. Сейсмические явления

Сейсмические (от греческого – сотрясения) ***явления*** проявляются в виде упругих колебаний земной коры. Это грозное явление природы типично районам геосинклиналей, где активно действуют современные горообразовательные процессы, и сопровождается разрывами, подвижками, расколами и другими остаточными деформациями земной коры. В наиболее резком появлении сейсмические явления называются *землетрясениями*. Сейсмические сотрясения происходят почти непрерывно. В год их регистрируется более 100 тысяч, но, к счастью, только около 100 приводят к опасным

Репозиторий БНТУ

последствиям, причем отдельные – даже к катастрофам с гибелью людей, массовыми разрушениями зданий и сооружений.

Землетрясения могут происходить при извержении вулканов (например, на Камчатке), а также в результате мощных взрывов.

История знает катастрофические землетрясения, когда погибали десятки тысяч людей и разрушались целые города или их большая часть (г. Лиссабон – 1755 г., г. Токио – 1923 г., г. Сан-Франциско – 1906 г., Чили и Сицилия – 1968 г.). Только в первой половине XX в. их было 3749, при этом только в Прибайкалье произошло 300 землетрясений. Наиболее разрушительные были в Ашхабаде (1948) и Ташкенте (1966). Исключительное по силе катастрофическое землетрясение произошло 4 декабря 1956 г. в Монголии, зафиксированное также на территории Китая и России. Оно сопровождалось огромными разрушениями. Один из горных пиков раскололся пополам, часть горы высотой 400 м обрушилась в ущелье. Образовалась сбросовая впадина длиной до 18 км и шириной 800 м. На поверхности земли появились трещины шириной до 20 м., главная из них протянулась до 250 км.

Наиболее катастрофическим было землетрясение 1976 г. в г. Тяншань (Китай), приведшее к гибели 250 тыс. человек в основном под обрушившимися зданиями из глины (сырцового кирпича). В 2003 г. землетрясения порядка 7 баллов с разрушениями и человеческими жертвами произошли в Афганистане, Турции и Алжире.

Сейсмические явления возникают на суше и на дне океана, поэтому различают *землетрясения и моретрясения*.

Моретрясения возникают в глубоких океанических впадинах Тихого, реже Индийского и Атлантического океанов. Быстрые поднятия и опускания дна океанов вызывают смещение крупных масс горных пород и порождают на поверхности океана пологие волны (*цунами*) с расстояниями между гребнями до 150 км. При подходе к берегу вместе с подъемом дна, а иногда сужением берегов в бухтах, высота волн увеличивается до 15-20 м и даже 40 м.

Цунами перемещаются на расстояния в сотни и тысячи километров со скоростью 500-800 и даже более 1000 км/ч. По мере уменьшения глубины моря крутизна волн резко возрастает и они со страшной силой обрушиваются на берега, вызывая разрушения сооружений и гибель людей. При моретрясении 1986 г. в Японии бы-

Репозиторий БНТУ

ли отмечены волны высотой 30 м, которые разрушили 10500 домов, погибло более 27 тыс. человек.

От цунами чаще всего страдают Японские, Индонезийские, Филиппинские и Гавайские острова, а также тихоокеанское побережье Южной Америки. В России это явление наблюдалось на восточных берегах Камчатки и Курильских островах. Последнее катастрофическое цунами здесь возникло в ноябре 1952 г. в Тихом океане за 140 км от берега. Перед приходом волны море отступило от берега на 500 м, а через 40 мин на побережье обрушилось цунами с песком, илом и различными обломками. Вторая волна высотой до 10-15 м довершила разрушение всех построек ниже 10-метровой отметки.

Самая высокая до 66 м при скорости 585 км/ч сейсмическая волна – цунами поднялась у побережья Аляски в 1964 г. Частота возникновения цунами не столь велика как у землетрясений. Так за 200 лет на побережье Камчатки и Курильских островов их наблюдалось 14, из которых 4 были катастрофическими. На побережье Тихого океана в России и других странах созданы специальные службы наблюдения. Для борьбы с цунами возводят инженерные сооружения

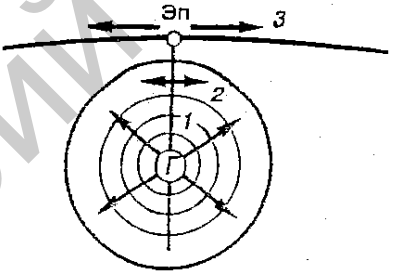

Рис. 13. Рис. 13. Гипоцентр (Г), эпицентр (Эп) и сейсмические волны: 1 – продольные, 2 – поперечные; 3 – поверхностные

Землетрясения. Сейсмические волны. Очаг зарождения сейсмических волн называют гипоцентром (рис. 13). По глубине его залегания различают землетрясения: поверхностные – от 1 до 10 км глубины, коровые – 30-50 км и глубокие (или плутонические) – от 100 до 700 км. Последние уже находятся в мантии Земли и связаны с движениями, происходящими в глубинных зонах планеты. Наиболее разрушительными являются поверхностные и коровые землетрясения.

Различают *продольные и поперечные* сейсмические волны. Скорость поперечных волн примерно в 1,7 раза меньше продольных.

Оценивают силу землетрясений с помощью сейсмографов, используя сейсмические шкалы. В практике силу землетрясений измеряют в баллах, причем наиболее распространенной в России и странах СНГ является 12-балльная по Рихтеру.

Репозиторий БНТУ

В Беларуси нынче составляется уточненная карта распространения землетрясений, причем максимальный балл здесь в некоторых районах достигает 10. Балльность в значительной мере определяется составом грунтов и их насыщением водой.

Вулканизм – это процесс прорыва магмы из глубин земной коры на поверхность земли. *Вулканы* – геологические образования в виде гор и возвышений конусовидной, овальной и других форм, возникшие в местах прорыва магмы на земную поверхность.

2.6.1. Учет влияния землетрясений на устойчивость зданий и сооружений

Воздействие землетрясений на здания и сооружения зависит от ряда факторов [1, 2]:

1 – геологических и гидрогеологических условий участка или района;

2 – глубины расположения очага и эпицентра (гипоцентра) землетрясения;

3 – частоты сейсмических колебаний и собственной частоты колебаний зданий и сооружений;

4 – конструктивных особенностей зданий и сооружений.

Остановимся на влиянии *геологического и гидрогеологического строения.*

При колебаниях в земной коре за счет переупаковки грунтовых частиц изменяется пористость и соответственно возникают повышенные осадки фундаментов. Они бывают преимущественно неравномерными в силу неоднородности грунтов, что особенно опасно для зданий и сооружений. В обводненных грунтах колебания усиливаются, поэтому балльность может увеличиваться на 1,5-2 балла.

Наиболее надежны и сейсмически активны грунты скальные, полускальные, крупнообломочные, песчаные и глинистые. Очень ненадежны – насыпные грунты и почвы. Наиболее неблагонадежными (лучше не строить) считаются участки с тектоническими нарушениями, по берегам и склонам рек и водоемов.

Построенный в 16-м веке на вулканических наносах г. Сан-Сельвадор был разрушен 16 раз. После очередного разрушения город был перенесен на участок со скальными грунтами. При последующих землетрясениях подвергся лишь частичному разрушению.

Репозиторий БНТУ

Конструкции зданий и сооружений.

Здания и сооружения в сейсмических районах решают в конструктивных схемах:

а) ***жесткой*** – фундаменты проектируют глубокими, коробчатыми, сильно армируют стены и углы, устраивают жесткие пояса;

б) ***гибкой*** – здания и сооружения проектируют так, чтобы они следовали за деформациями основания, также предпочтительны более глубокие фундаменты.

Все здания и сооружения рассчитывают на увеличенные статические усилия, т.е. умноженные на коэффициенты сейсмичности. В табл. 5 [2] приведена современная 12-балльная шкала и дана краткая характеристика последствиям землетрясений.

Таблица 5

Баллы	Последствия землетрясений
I	Колебания земли отмечаются приборами
II	В отдельных случаях ощущается людьми в спокойном состоянии
III	Колебания земли отмечаются некоторыми людьми
IV	Землетрясения отмечаются многими людьми
V	Качание висячих предметов, многие спящие просыпаются
VI	Легкие повреждения в зданиях, тонкие трещины в штукатурке; трещины в сырых грунтах, небольшие изменения дебита источников и уровня воды в колодцах
VII	Трещины в штукатурке и откалывание отдельных кусков, тонкие трещины в стенах; в единичных случаях нарушения стыков трубопроводов; большое количество трещин в сырых грунтах, в отдельных случаях мутнеет вода, изменяется дебит источников и уровень грунтовых вод
VIII	Большие трещины в стенах, падение карнизов, дымовых труб; отдельные случаи разрушения стыков трубопроводов; трещины в сырых грунтах до нескольких сантиметров, вода в водоемах становится мутной, возникают новые водоемы, часто меняется дебит источников и уровня воды в колодцах
IX	В некоторых зданиях обвалы; обрушение стен, перекрытий, кровли; многочисленные разрывы и повреждения трубопроводов; трещины в сырых грунтах до 10 см; большие волнения в водоемах, часто возникают новые и пропадают существующие источники
X	Обвалы во многих зданиях. Трещины в грунтах шириной до 1-5 м
XI	Многочисленные трещины на поверхности земли, большие обвалы в горах
XII	Изменение рельефа местности в больших размерах

Землетрясения способствуют развитию чрезвычайно опасных гравитационных процессов – оползней, обвалов, осыпей. Как пра-

Репозиторий БНТУ

вило, все землетрясения от семи баллов и выше сопровождаются этими явлениями, причем катастрофического характера.

Весьма затруднительно строить при высоком залегании грунтовых вод (1-3 м). Наибольшие разрушения при землетрясениях происходят на заболоченных территориях, на обводненных пылеватых и лёссовых недоуплотненных грунтах, которые при сотрясениях энергично доуплотняются, разрушая выстроенные на них объекты.

На территориях с силой землетрясений менее 7 баллов основания зданий и сооружений проектируют без учета сейсмичности. При 7, 8 и 9 баллах учитывают сейсмические воздействия, не рекомендуя прокладывать подземные коммуникации в водонасыщенных грунтах, а в насыпных – даже независимо от влажности.

При планировке населенных пунктов в сейсмических районах стремятся делать как можно больше открытых пространств, широких улиц с большими площадями. При возведении жилых зданий избегают устройства навесных конструкций и элементов, используют простые формы в плане, а фундаменты закладывают поглубже.

3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Природные геологические процессы совершаются на поверхности земли или на малых глубинах в результате геологической работы воды, льда, организмов, ветра, гравитации. Кроме этого такие процессы происходят в результате деятельности людей при замачивании просадочных грунтов под зданиями и сооружениями, от сдвижения грунтовых толщ над подземными выработками и т.д.

Геологические процессы можно расчленить на 3 стадии [1-4]:

а) разрушение грунтов;

б) перенос продуктов разрушения;

в) образование из продуктов разрушения новых осадков.

В результате этих процессов происходит изменение рельефа, сглаживаются его крупные элементы и образуются слегка приподнятые равнины – пенеплен.

Выветривания – это разрушение и изменение состава грунтов под воздействием различных агентов, среди которых основную роль играют колебания температур, замерзание воды, кислоты, щелочи, углекислоты, ветер, организмы и т.д.

Репозиторий БНТУ

Выветривания бывают: ***физическое***, ***химическое*** и ***органическое (биологическое)***.

Физическое выветривание выражается в механическом дроблении пород без существенного изменения их минералогического состава (рис. 14). Это происходит в результате колебания температур, замерзания воды, ударов переносимых ветром песчинок, кристаллизации солей в капиллярах, давления от роста корневой системы растений и т.д.

Весьма интенсивно выветриваются наружные части зданий и сооружений, особенно в местностях с сухим резко континентальным или холодным климатом.

Химическое выветривание происходит с изменением состава пород. Наиболее активными реагентами являются вода, кислород, углекислота и органические кислоты. В породах кроме растворения протекают реакции обмена, замещения, окисления, гидратации и дегидратации. Одновременно с разрушением первичных минералов, например полевых шпатов, в граните образуются новые, вторичные минералы. Так образуются многие растворимые (хлориды, карбонаты, сульфиды) и нерастворимые минералы типа глинистых образований (гидрослюды, монтмориллнит, каолинит и др.).

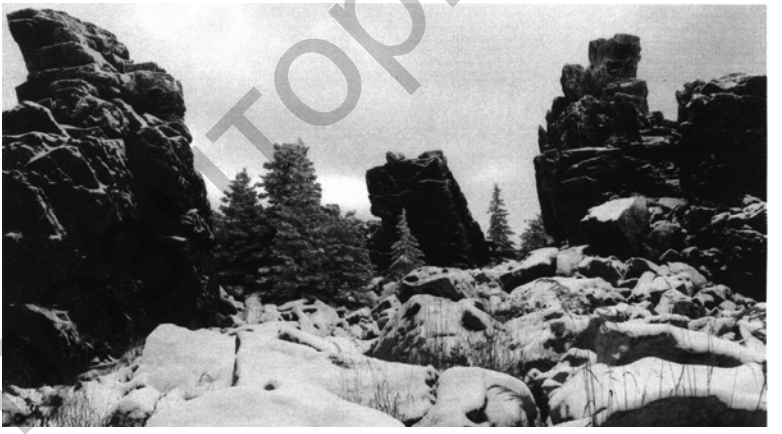

Рис. 14. Выветривание грунтов

Простейшим видом химического выветривания является *растворение в воде* каменной соли и гипса. Примером служит переход ангидрита в гипс $CaSO_4 + 2H_20 = CaSO_4 .2H_2O$. Этот процесс сопро-

Репозиторий БНТУ

вождается резким увеличением объема (до 50-60%), что вызывает разрушительное давление на окружающие породы.

При наличии воды происходит окисление. Например, пирит превращается в гидрат окиси железа с образованием серной кислоты, разрушающей многие минералы. Над пиритом часто образуется «железная шляпа» из лимонита. Содержащаяся в воде углекислота превращает полевые шпаты в глинистые образования. Химическое выветривание интенсивнее в теплом и влажном климате. Наиболее устойчивыми являются кварц, мусковит, корунд; менее устойчивы – кальцит, доломит и др.

Биологическое (органическое) выветривание проявляется в процессе жизнедеятельности живых организмов и растений (рис. 15). Породы дробятся и сильно подвергаются воздействию органических кислот, образуемых при отмирании растений. Корни деревьев способны расщеплять даже скальные грунты, а бактерии поглощают одни вещества и выделяют другие. Действие биологического выветривания играет ведущую роль в образовании почв.

Рис. 15. Разрушение асфальтового покрытия растущими грибами

Процесс выветривания пород выражается в изменении их физико-механических свойств, снижении устойчивости оснований сооружений, возникновении естественных и искусственных откосов, подземных выработок и т.д.

Репозиторий БНТУ

Продукты выветривания могут оставаться на месте образования или переноситься. Если они не переносятся, то возникает ***элювий*** (el) с характерной неокатанностью частиц и переменной мощностью.

Степень выветрелости пород оценивается *коэффициентом выветрелости* K_W, т.е. отношением плотностей выветрелой породы к невыветрелой.

Борьба с процессом выветривания. Фундаменты в основаниях зданий и сооружений прорезают кору выветривания до невыветрелого грунта. При достаточной прочности или упрочнении элювий могут использовать в качестве несущего основания. В период эксплуатации зданий и сооружений грунты и строительные материалы без защиты от агентов выветривания могут постепенно разрушаться.

Для предотвращения выветривания или улучшения свойств уже выветрелых грунтов применяют различные мероприятия [1-3]:

- покрытие грунтов непроницаемыми для агентов выветривания материалами;
- пропитывание грунтов различными стойкими веществами;
- нейтрализацию агентов выветривания;
- планировку территорий и отвод вод.

Защитные покрытия из гудрона, цемента, геосинтетиков и других искусственных полимерных материалов предохраняют грунты от проникновения воды, но не защищают от влияния колебания температуры. Перемятая глина является хорошим изолирующим покрытием. Иногда дно выветриваемого котлована не доводят до проектной отметки, а слабый слой снимают перед устройством фундамента.

Пропитывают грунты жидким стеклом, гудроном, цементом.

Нейтрализацию агентов выветривания в силу неудобства и дороговизны применяют редко, а для этого используют насыщение фильтрующейся воды нейтрализующими солями либо дренажи.

3.1. Геологическая деятельность ветра (эоловые отложения – eoQ_{IV})

Ветер совершает большую геологическую работу: разрушение земной поверхности (*выдувание* или *дефляция*, *обтачивание* или *коррозия*), перенос продуктов разрушения и отложение (аккумуляция) этих продуктов в виде скоплений различной формы.

Репозиторий БНТУ

Все эти процессы носят общее название ***эоловых***. Они наиболее ярко проявляются в пустынях, долинах рек и на морских побережьях.

Выдувание (дефляция) возникает в результате воздействия механической силы ветра, проявляясь особенно сильно в рыхлых и мягких породах, на почвах пахотного слоя. Выдувание усиливается после нарушения дернового покрова, вырубки кустарников и деревьев. При этом ветер выдувает котловины, борозды и траншеи.

Механическая сила ветра в виде бокового давления *ветровой нагрузки* воздействует на препятствия в виде зданий и сооружений, что влияет на их устойчивость.

Под напором ветра происходит перенос пыли, песка и даже гравия. При ударе о твердые породы песчаные частицы перетирают, сверлят и обтачивают их поверхность. Появляются борозды, желоба, углубления. Этот процесс обтачивания получил название *коррозии*., которая породы превращает в обломки различного размера. Помимо порождения различных форм рельефа возникают различные *останцы* в виде столбов, грибообразных эоловых ваз, мостов (эоловых ворот), качающихся камней и т.д.

Эоловые отложения. В зависимости от скорости ветра и размера частицы переносятся ветром во взвешенном состоянии (***глинистые, пылеватые и мелкие песчаные частицы***), путем перекатывания или перемещения на небольшой высоте.

Ветровые (эоловые) отложения представлены ***песком и пылью***. По закрепленности их делят на подвижные (*дюны, барханы*) и закрепленные (*грядовые, бугристые*) пески.

Дюны образуются по берегам рек и морей возле кустарников, неровностей рельефа и зданий. Дюны обычно образуют цепь холмов.

Барханы (рис. 16) возникают в пустынях по действием сильных ветров.

При перемещении подвижные пески заносят поля, оазисы, каналы, дороги (рис. 17), здания, селения и даже города. На побережьи Франции под песками погребены деревни и города. Оживлению перемещения песков способствуют уничтожение травяного покрова, движение транспорта и землеройные работы. Эоловые пески за счет изменчивости направления и скорости ветра имеют слоистость и наклон при слабой уплотненности (коэффициент пористости более 50%) особенно в сухих условиях.

Репозиторий БНТУ

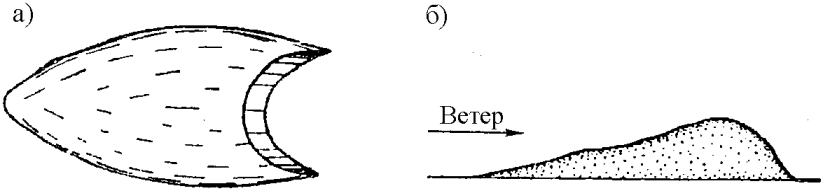

Рис. 16. Барханы:
а – план, б – продольный разрез

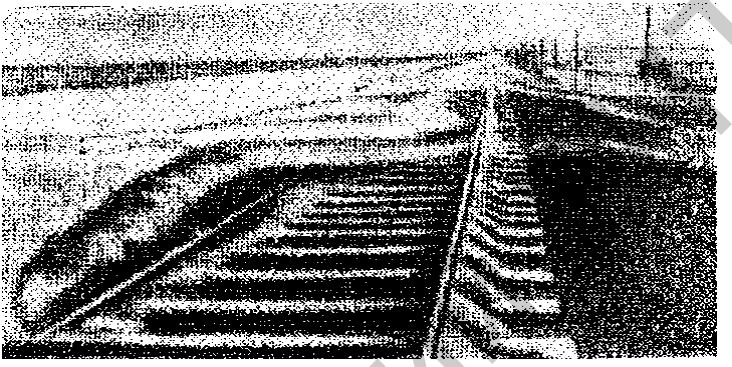

Рис. 17. Засыпанная песком железная дорога

Для борьбы с подвижными песками при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений используют следующие методы:

- установку на пути движения песков деревянных щитов;
- посадку растительности (травы, и кустарников);
- обработку песков различными закрепляющими растворами;
- армирования поверхностных толщ геосинтетическими материалами (сетками, пленками, ячеистыми каркасами и т.п.);
- проектирование сооружений, облегчающих пропуск движущегося песка.

Пылеватые накопления встречаются обычно за пределами пустынь. Такие накопления древнего возраста в сухих условиях формируют ***лёссы***, характеризующиеся просадочностью при замачивании. Во влажном климате Беларуси сформировались непросадочные лёссовидные супеси и суглинки.

3.2. Геологическая деятельность атмосферных осадков (поверхностных текучих вод)

Репозиторий БНТУ

За счет атмосферных осадков (дождя или таяния снега) по поверхности земли вода растекается в виде многочисленных микроструек и сплошных потоков. При этом на склонах возникает ***плоскостной смыв*** (плоскостная эрозия без образования русла), приводя к выполаживанию местности. Плоскостной поток постепенно разбивается на отдельные струи, создаются крупные потоки (ручьи), осуществляющие ***струйчатую эрозию*** с образованием промоин (рис. 18), оврагов и т.д.

а)

б)

Рис. 18. Образование промоин на откосе при струйчатой эрозии (а) и оврага на склоне за подпорной стеной на ул. Жудро в Минске (б) при нарушении одерновки, что обусловило её обрушение

Образование наносов. Продукты выветривания пород (элювий) водными потоками смываются с возвышенностей на склоны и к их подножию. В зависимости от силы потоков и крутизны склонов

Репозиторий БНТУ

перемещаются ***частицы глинистые, пылеватые, песчаные и даже более крупные обломки***.

На склонах и у их подошвы скапливается *делювий* (dQ), в понижениях на примыкании к склонам – *пролювий* (рис. 19). Эти наносы почти сплошным покровом закрывают лежащие под ними более древние (коренные) породы.

Делювиальные отложения чаще всего неотсортированы. Они способны к сползанию по склонам с интенсивностью и мощностью в зависимости от крутизны склонов и состава наносов.

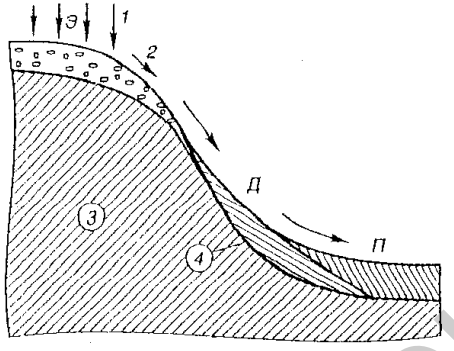

Рис. 19. Схема образования наносов на склоне рельефа:

Э – элювий; Д – делювий; П – пролювий; 1 – атмосферные осадки; 2 – плоскостной смыв; 3 – коренные породы; 4 – первоначальная поверхность склона

По своему составу делювий разнообразен и в минералогическом отношении связан с расположенными выше по склону грунтами. В верхней части склонов он представлен ***суглинками, супесями, песком с включениями крупных обломков***, внизу – ***супесями, суглинками и реже глинами***. В лёссовых районах делювий представлен лёссовидными суглинками. Пролювий (pQ) представляет собой рыхлые образования неоднородного состава в виде суглинков и супесей, переслаиваемых с песком и крупными обломками.

Образование оврагов. Растаявший снег и дожди на склонах создают ручьи и струйчатую эрозию, приводя к образованию *оврагов* (рис. 20), у которых различают *устье*, *ложе и вершину* (рис. 21).

Репозиторий БНТУ

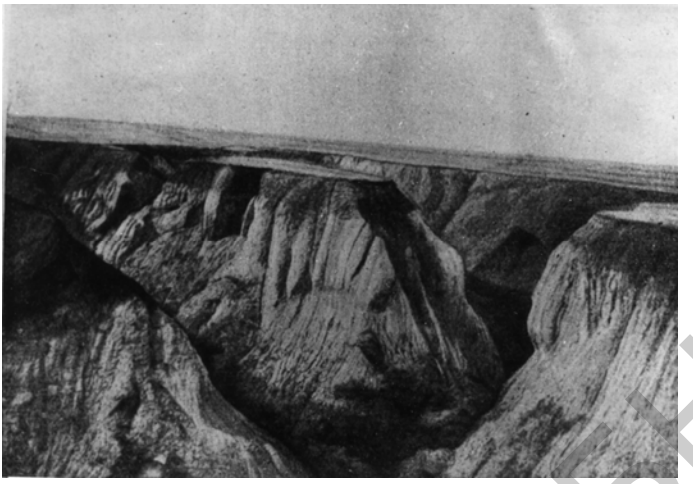

Рис. 20. Овраг в лёссовых грунтах

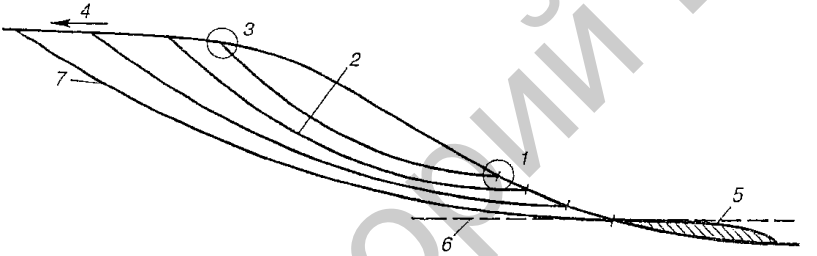

Рис. 21. Продольный разрез оврага:
1 – устье; 2 – ложе; 3 – вершина; 4 – направление роста оврага; 5 – конус выноса; 6 – базис эрозии; 7 – максимальная глубина оврага

Ложе оврага размывается до предельной отметки, т. е. уровня бассейна (озеро, река и т.д.), в который впадает водоток оврага. Этот уровень называют *базисом эрозии*. В начале развития возникает глубокий активный овраг с обрывистыми берегами и без растительности. При достижении оврагом максимальной глубины образуется *балка*, у которой ширина превосходит глубину, ее рост прекращается, склоны задерновываются. Понижение базиса эрозии (уровня реки) вызывает дальнейшее развитие оврага. Овражный элювий накапливается в устье оврага.

Мелиоративные меры по уменьшению овражной эрозии таковы:

- планировка склонов и засыпка мелких оврагов;

Репозиторий ВНТУ

- выполаживание оврагов с устройством лотков, быстротоков;

- устройство водозадерживающих и водоотводящих валов, нагорных канав, дамб-перемычек, донных запруд и др.;

- подсыпка откосов на склонах оврагов, одерновка и залесение;

Селевые потоки. *Сели* представляют собой бурные грязекаменные (водокаменные) потоки в горных районах, приводящие к большим разрушениям на своем пути (рис. 22). Для борьбы с селями требуется, сохранение дернового покрова на пастбищах, недопущение пересыхания верхнего слоя почвы и поверхностной эрозии, посадка леса, выполнение организованного отвода потоков, создание плотин.

Рис. 22. Последствия селевого потока

Снежные лавины возникают от обрушения больших масс снега с крутых склонов. Они бывают сухими в мороз и мокрыми при оттепели. В зависимости от особенностей местности и характера движения лавин для защиты склоны террасируют, садят деревья, возводят подпорные стены, организуют инженерную защиту с возведением галерей над сооружениями, горными дорогами и др.

Репозиторий БНТУ

3.3. Геологическая деятельность рек

Полноводные реки совершают большую геологическую работу – разрушение (эрозию) грунтов, перенос и отложение (аккумуляцию) этих продуктов (рис. 23), которые называют ***аллювиальными*** (aQ).

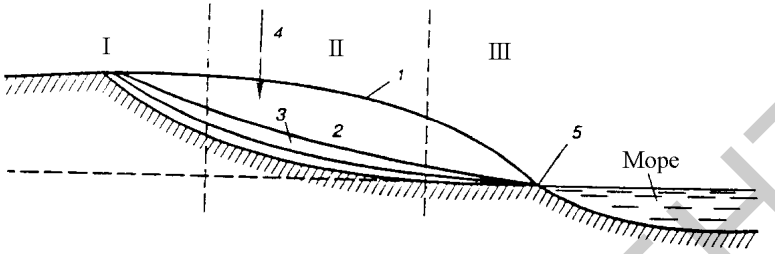

Рис. 23. Продольный профиль долины реки:
I – течение верхнее; II – то же среднее; III – то же нижнее; 1-3 – последовательные стадии выработки профиля реки; 4 – направление донной эрозии; 5 – базис эрозии; 6 – море

Эрозия бывает донной и боковой. Ее интенсивность зависит от скорости течения. При размыве берегов русло реки на равнине блуждает (меандрирует). Обломки интенсивнее оседают в русле, река мелеет, появляются отмели, перекаты, косы. На равнинах возникают старицы. На развитие рек влияет производственная деятельность человека.

Строение речных долин. Долины рек разнообразны по формам, размерам, строению. В поперечных разрезах они бывают *симметричные и асимметричные*.

Долина имеет: *дно, русло, пойму и террасы* (рис. 24).

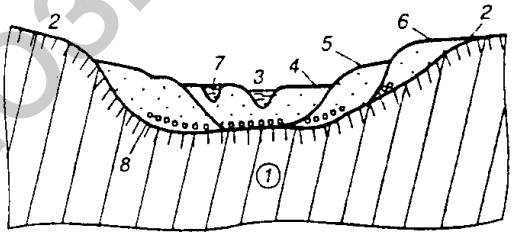

Рис. 24. Элементы строения долины реки:
1 – коренные породы; 2 – склон; 3 – русло; 4 – пойма; 5 – первая надпойменная терраса; 6 – то же, вторая; 7 – старица; 8 – дно долины

Репозиторий БНТУ

Дно – низшая часть, заключенная между подошвами склонов. *Русло* – часть, занятая водным потоком. Поперечный разрез потока называют живым сечением. *Пойма* – часть, заливаемая водой в период паводка при таянии снега весной. Низкие поймы заливаются ежегодно, а высокие – один раз в 10-15 лет. *Старицы* – изолированные русла рек с отсутствием движения воды подобно озерам.

Необходимо различать следующие уровни воды в реке:

• *расчетный горизонт* высоких вод, отвечающий средним из наибольших уровней реки, наблюдавшихся в течение многих лет;

• *наивысший горизонт* высоких вод, выше которого по многолетним наблюдениям вода не поднималась;

• *меженный горизонт* – низкий уровень воды.

На береговом участке поймы, вдоль русла, образуется прирусловый вал из песка. Центральная часть поймы содержит притоки, старицы, озера, старые прирусловые валы.

Террасы – уступы (поперечные и продольные)на склонах долин рек.

Поперечные террасы располагаются поперек рек долины и порождают водопады, размывающие мягкие грунты с образованием уступов (порогов).

Продольные террасы располагаются вдоль склонов долин в виде горизонтальных или почти горизонтальных *надпойменных* площадок. По слагающему материалу их подразделяют на *эрозионные, цокольные* и *аккумулятивные* (аллювиальные) (рис. 25). При паводках они не заливаются водой. Каждая из них в свое время была поймой. Дальнейшее углубление дна долины поднимает надпойменные террасы все выше и выше.

Эрозионные террасы вымываются рекой в коренных породах долины и возникают на первых стадиях развития реки в ее верхнем течении. Эти террасы, перекрытые маломощным аллювием, называют *цокольными*. *Аккумулятивные* террасы сложены из аллювия в долинах равнинных рек, их подразделяют на *вложенные* и *наложенные* (рис. 26).

Наложенные террасы (рис. 26, *б)* образуются при усилении эрозионной деятельности, частичном размыве ранее отложившегося аллювия и аккумуляции новых наносов поверх более древних аллювиальных отложений.

Репозиторий БНТУ

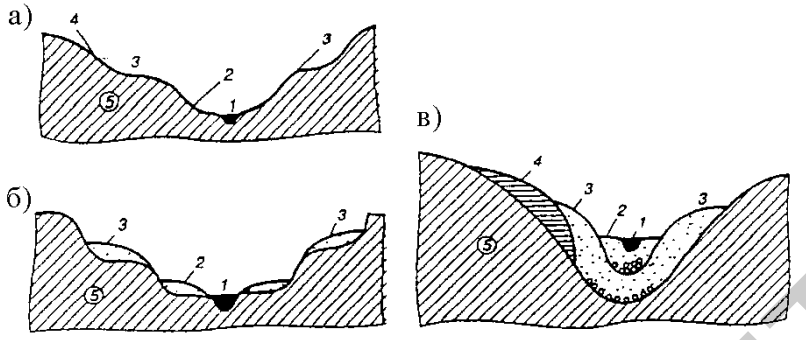

Рис. 25. Типы надпойменных террас:
а – эрозионные; б – цокольные; в – аккумулятивные; 1 – русло; 2 – пойма;
3 – первая надпойменная терраса; 4 – то же, вторая, 5 – коренные грунты

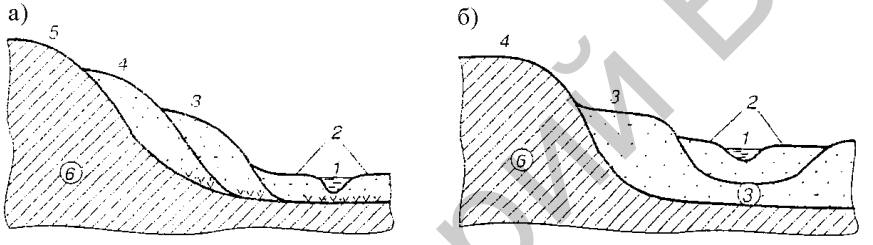

Рис. 26. Виды надпойменных аккумулятивных террас:
а – вложенные; б – наложенные; 1 – русло; 2 – пойма;
3-5 – надпойменные террасы; 6 – коренные породы

Геологическое строение речных долин имеет важное значение при инженерно-геологической их оценке в строительных целях. Наиболее благоприятны террасы эрозионные. Значительно сложнее строительство на аккумулятивных наносах.

Борьба с эрозией рек. Для зданий и сооружений в речных долинах подмыв берегов, в том числе древних террас, и заглубление дна реки представляет значительную опасность. Это приводит к обрушению берегов, появлению обвалов, оползней и другим нежелательным явлениям (рис. 27).

Репозиторий БНТУ

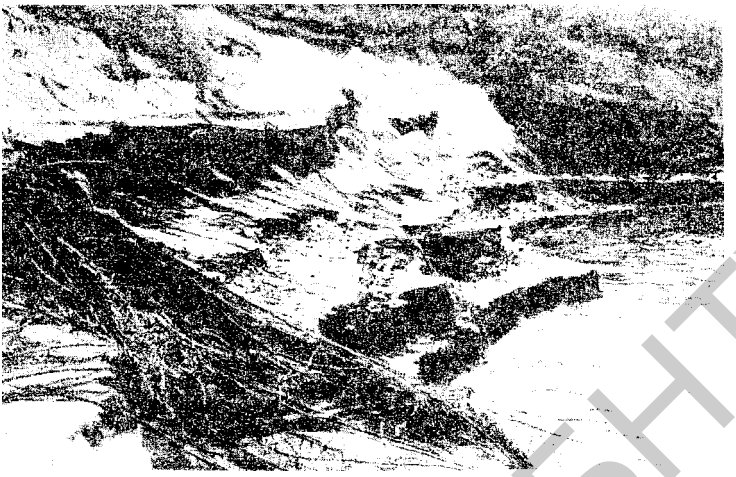

Рис. 27. Размыв берега реки

С боковой эрозией борются укреплением берегов с регулированием течения реки. В зависимости от геологического строения берега, характера и места размыва устраивают набережные, подпорные стенки, набрасывают бутовые камни свободно или в фашинных тюфяках, укладывают железобетонные плиты и т. д. Берега защищают струенаправляющими стенками (рис. 28).

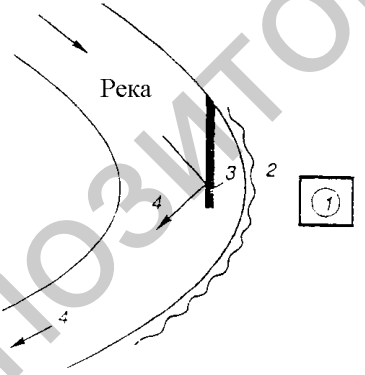

Рис. 28. Струенаправляющая стенка в русле реки:
1 – здание; 2 – размываемый берег; 3 – струенаправляющая стенка; 4 – течение реки

Аллювиальные отложения рек и их строительные свойства. Большинство обломков реки выносят к морю и откладывают в районе дельт. Много аллювия скапливается в *русле рек* и *на поймах* с мощностью в долинах рек от нескольких до десятков метров. В со-

Репозиторий БНТУ

став аллювия входят ***глыбы, валуны, галечник, гравий, пески, суглинки, глины, илы, органический материал***. В горных реках преобладают к***рупноблочные***, в равнинных – ***пески и более мелкие осадки***. По характеру и месту накопления речные отложения бывают *дельтовые, русловые, пойменные* и *старичные.*

В дельтах накапливаются *песчано-глинистые осадки*. *Русловый аллювий* состоит из ***песка*** и более грубых обломков – ***галечника, гравия, валунов***. *Пойменный аллювий* откладывается в период паводка и представляет собой ***суглинки*** различного состава, ***глины и мелкие пески***, которые обычно ***обогащены органическим материалом***. *Старичный аллювий* возникает в виде ***ила с органическими веществами***. При паводке в старицы поступают ***мелкие илистые пески***, чаще всего в форме линз.

В основании аллювия залегают ***галечники, гравий, крупные пески.***

В речных долинах могут залегать неаллювиальные отложения в виде делювия, пролювиальных наносов и эоловых накоплений.

К оценке аллювиальных отложений как оснований следует подходить дифференцированно. Русловые отложения в долинах крупных рек служат хорошим основанием для мостовых переходов. В русловом аллювии, перекрытом пойменными и старичными отложениями, используют свайные фундаменты.

Древний пойменный аллювий в виде *суглинков и глин твердой консистенции* является хорошим основанием. Однако на древних террасах *аллювиальные суглинки* часто бывают *лёссовидными и могут обладать просадочными свойствами*.

Современный пойменный аллювий обладает высокой влажностью, либо вообще находится в водонасыщенном состоянии с низкой несущей способностью. Суглинки и глины легко переходят в пластичное и даже текучее состояние. Наиболее слабыми являются иловатые старичные. При строительстве между подошвой фундамента и иловатым грунтом применяют песчаные подушки или свайные фундаменты.

В силу наличия многослойности толщ аллювиальных отложений, наличия линз и пропластков они под нагрузкой могут обладать различной сжимаемостью, что значительно усложняет расчет осадки сооружений. С аллювиальными отложениями связаны плывунность песчаных и набухание глинистых грунтов.

3.4. Геологическая деятельность моря

Репозиторий БНТУ

В морских бассейнах (морях и океанах) протекают сложные процессы энергетического разрушения, перемещения и формирования различных осадочных пород.

В прибрежной зоне морские осадки состоят из продуктов разрушения берегов и материала, приносимого ветром и особенно реками. В морях многочисленные организмы с твердыми скелетами (раковины, панцыри) из $CaCO_3$ и $SiO_2n.H_2O$ создают ***органические осадки.*** В соленой морской воде много ***химических осадков***.

При вертикальных колебаниях земной коры моря перемещаются, как бы переливаются с одного места на другое. В одних местах берег отступает (*трансгрессия*) и населенные пункты заметно удаляются от моря. В других море наступает (*регрессия*), берег погружается под воду и энергично размывается. При строительстве сооружений на берегу наступающего моря надо предусматривать меры по борьбе с размывом.

Абразионная работа моря. Геологическая деятельность моря по разрушению горных пород, берегов и дна называют *абразией.* Процессы абразии зависят от особенностей движения воды, интенсивности и направления ветров, течений, характера грунтов на берегах. Основные разрушения совершают *морской прибой* и в меньшей мере различные *течения* (прибрежные, донные, приливы и отливы). Главное значение в этом процессе имеет механическая сила от ударов волн и обломков пород.

Действие волн ослабляется и прекращается на глубинах, равных примерно половине длины волны, т.е. расстоянию между двумя соседними гребнями.

В результате абразии на берегах образуются *волноприбойные террасы* (рис. 29).

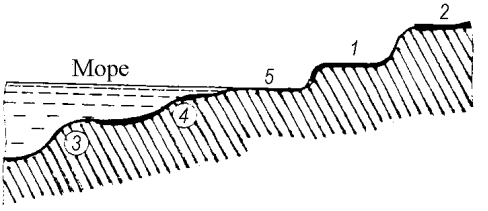

Рис. 29. Строение морского берега, террасы:
1 и 2 – надводные;
3 и 4 – подводные;
5 – пляжная

В одних случаях эти террасы могут быть сложены коренными породами, в других – морскими отложениями (аккумулятивными).

Репозиторий БНТУ

Такие террасы называют *морскими. Подводные* террасы свидетельствуют о наступлении моря и опускании берега ниже уровня воды. *Пляжем* обычно называют часть берега, которая перекрывается максимальной волной или приливом. У пляжа шире 20 м энергия волн гасится в его пределах. При отсутствии пляжа берег разрушается наиболее интенсивно. Морская вода оказывает химическое воздействие, растворяя породы и строительные материалы. Сильно разрушают бетон и камень многие морские организмы и растения.

При проектировании зданий и сооружений на берегах морей необходимо учитывать абразию, обрушение берегов и возможное истощение пляжей.

Для укрепления берегов от абразии используют сооружения: *волноотбойные* стенки, буны, волноломы (рис. 30) , железобетонные тетраподы.

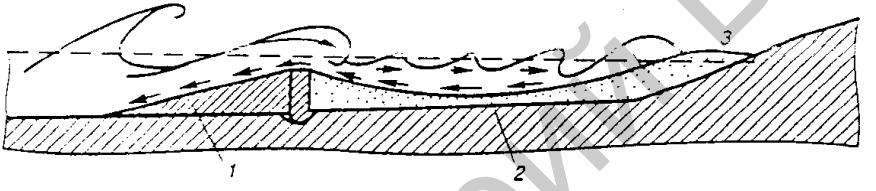

Рис. 30. Берегозащитные сооружения:
1 – волнолом; 2 – обломочный материал; 3 – пляж

Морские отложения осадков. В морях и океанах, в силу транспортирующего действия воды, осадки распределяются довольно закономерно. У берегов накапливается *грубообломочная масса (галечники, гравий и т. д.)*; в зоне шельфа — *пески различной крупности*; на материковом склоне преобладает *глинистый материал*. По мере удаления от берега к обломкам все более примешиваются органические илы и химические осадки. Главная масса осадков откладывается в прибрежной и мелководной части моря.

На низких берегах за пляжной зоной формируются *береговые валы из **гальки, песка, битой ракушки***. Между валами и берегом располагаются *пляжные отложения — **пески, илы, гравий, реже галечник***. В зоне шельфа осаждается основная масса *обломочных осадков*, второе место занимают *органогенные*; третье — ***химические образования***, которые более свойственны прибрежной зоне и лагунам (мор-

Репозиторий БНТУ

ские заливы, отделенные от моря подводным барьером).

На материковом склоне и океанском ложе более всего развиты ***органогенные осадки***. Обломочные и химические осадки имеют подчиненное значение.

Отложения, образовавшиеся в морской среде, широко распространены на суше, занимая огромные пространства на континентах в виде отложений большой мощности и различного литологического состава (рис. 31). Древние морские отложения на суше принято называть *коренными породами.*

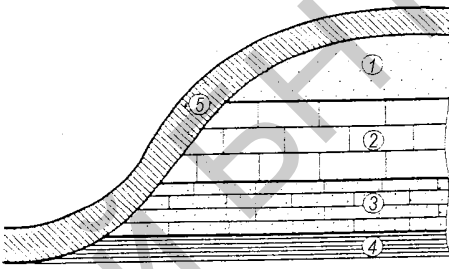

Рис. 31. Осадочная толщина морского происхождения (коренные породы), перекрытые современными наносами:
1 – песок; 2 – известняк; 3 – песчаник; 4 – глины; 5 – современные наносы в виде суглинка (Q)

Строительные свойства морских грунтов определяются условиями их образования. Глубоководные отложения более выдержаны по составу, имеют значительную мощность, однородность, однотипные свойства. Отложения шельфа однообразны по напластованию, но быстро меняются по вертикали. Породы береговой зоны переменчивы во всех отношениях.

Древние морские отложения являются хорошим основанием под сооружения, но в этих грунтах могут быть вредные примеси типа пирита и водорастворимых солей. Глубоководные глины часто переуплотнены: на крутых откосах в них возникают оползни. Надежными основаниями служат пески. галечники и другие обломочные материалы. К слабым грунтам относятся мощные толщи современных прибрежных илов.

3.5. Геологическая деятельность в озерах, водохранилищах, болотах

Репозиторий БНТУ

Озера имеют различное происхождение [1, 2]:

• *тектонические* – во впадинах тектонического происхождения (озера Байкал, Ладожское, Онежское);

• *эрозионные*– в котловинах размыва,

• *карстовые* – в заполненных водой карстовых воронках,

• *плотинные,* или *запрудные,* образовавшиеся в результате обвалов.

Разрушительная работа озер проявляется в подмыве берегов нагоняемыми ветром волнами. Так создаются *озерные абразионные террасы* в коренных берегах и *аккумулятивные,* сложенные озерными осадками.

Большое влияние на поднятие или опускание уровня воды в озерах оказывают тектонические движения земной коры, а в последнее время и производственная деятельность человека. При борьбе с абразией озер используют подпорные и волноотбойные стенки, а также волноломы, буны и другие сооружения.

Отложения *озер включают* ***обломочные, химические и органогенные осадки***. Вдоль побережий навеваются дюны и формируются пляжи. Озера откладывают в основном грубые обломки и различной крупности пески. Такой же материал в виде валов накапливается при впадении рек в озера.

Озера на дне заполняются ***глинистыми осадками, песками, илами***, также ***специфическими образованиями в виде сапропеля, торфа, особых озерных мергелей, иногда озерного мела, трепела***. В соленых озерах самостоятельно или вместе с механическими осадками отлагаются соли (хлориды, сульфаты и др.). Некоторые мелководные озера способны переходить в стадию болот.

Водохранилища. В искусственных водохранилищах *абразионная* работа вод выражается в выработке нового профиля при размыве береговой линии (рис. 32) вслед за заполнением водохранилища.

Сильную абразию на берега водохранилища оказывают *волноприбой при колебаниях уровня, а также морфология склонов, их геолого-литологическое строение н свойства грунтов*.

Репозиторий БНТУ

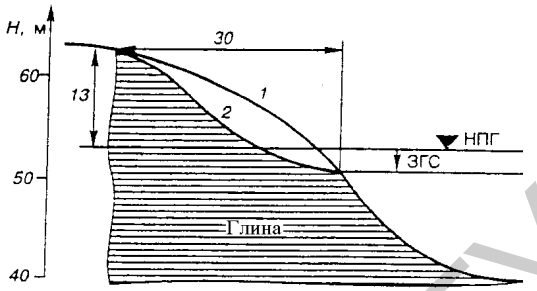

Рис. 32. Схема размыва берега водохранилища:
1 – контур берега до устройства водохранилища; 2 – то же, в процессе его эксплуатации;
ЗГС – зимний горизонт сработки;
НПГ – нормальный подпорный горизонт

При крутизне склонов более 6° наиболее сильно разрушаются берега, а менее 6° образуются косы и отмели за счет наносов. Интенсивнее всего разрушаются выступы берегов. В бухтах чаще накапливаются осадки, на склонах проявляются оползни, обвалы, особенно интенсивно при быстром спаде уровня воды в водохранилище. Возможны заболачивание берегов или образование солончаков. У берегов накапливаются осадки ***обломочные с примесью тонкодисперсных наносов*** от смывания из оврагов и впадающих в водохранилище рек, а также иные делювиально-пролювиальные осадки. На дне реки откладываются ***глины, суглинки, илы*** и т. д.

Меры активной борьбы с переработкой берегов водохранилищ направлены против постоянных и временных подтоплений, повышения уровня грунтовых вод. При защите берега и дамб обвалования лучше применять покрытия из камня, железобетонных плит, асфальта, геосинтетических материалов.

Болота. Избыточно увлажненные участки земной поверхности с развитой на них специфической растительностью называют болотом. Они более свойственны берегам рек, старицам, побережьям озер, вечной мерзлоте.

По происхождению, т. е. по условиям питания водой, болота подразделяют на *низинные, верховые* и *переходные* (рис. 33).

Низинные болота питаются грунтовой, частично речной или озерной водой, дождевыми и талыми водами, *верховые болота* – атмосферными осадками и талыми водами. *Болота переходного типа* имеют смешанное питание.

В соответствии с условиями питания водой низинные болота образуются от заторфовывания водоемов, *а верховые болота* – от заболачивания суши.

Репозиторий БГТУ

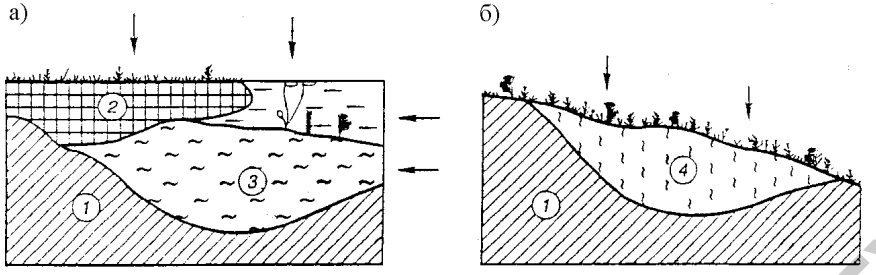

Рис. 33. Типы болот:
а – низинное; б – верховое; 1 – минеральное дно; 2 – торф: 3 – ил;
4 – заболоченный грунт
(стрелки показывают источники питания болот водой)

Заболачивание происходит на мало водопроницаемых грунтах и при снижении испарения воды, поверхностного стока и подземного дренирования. На этих участках в местах выхода на поверхность подземных вод при отсутствии оттока появляются *ключевые* болота малой площади с развитой ***болотной растительностью и торфом***. Болота на верхней и средней частях склонов называют *висячими,* а в долинах рек – *пойменными*. Болота бывают *мелкие* (до 2 м), *средние* (2 – 4 м) и *глубокие* (свыше 4 м).

Строительная оценка болот. Болота неблагоприятны для возведения зданий и сооружений. Для определения возможности строительства, выбора типа фундамента и конструкции сооружения надо установить происхождение болота, его площадь, глубину, рельеф минерального дна. Наиболее легко осушаются верховые болота.

3.6. Геологическая деятельность ледников

На протяжении последних 500 – 600 тыс. лет на территории Европы насчитывают несколько больших оледенений, надвигавшихся из Скандинавии.

На Русской равнине в течение последних 240 тыс. лет произошло три крупных оледенения, между которыми наступало потепление – межледниковые эпохи, каждая из которых связана с определенным участком земной поверхности. Наиболее значительным считают днепровское оледенение, достигшее широты Среднего Дона. В настоящее время льды занимают 10 % поверхности суши. 98,5 % при-

Репозиторий БНТУ

ходится на полярные области и лишь 1,*5%* – на высокие горы. Различают три типа ледников: *горные, плоскогорий* и *материковые.*

Горные ледники образуются высоко в горах и располагаются на вершинах, в ущельях, впадинах, различных углублениях. Скорость движения горных ледников различна. На Кавказе она составляет 0,03 – 0,35 м/сут, на Памире — I – 4 м/сут.

Ледники плоскогорий образуются в горах с плоскими вершинами Лед залегает нераздельной сплошной массой. От него по ущельям спускаются ледники в виде языков. Такой ледник располагается сейчас на Скандинавском полуострове.

Материковые ледники распространены в Гренландии, Шпицбергене, Антарктиде и других местах, где сейчас протекает современная эпоха оледенений. Льды мощностью в тысячи метров залегают сплошным покровом в Антарктиде (слой 4200 м) и в Гренландии (более 2400 м). Скорость движения льда к океану в Гренландии составляет 4 – 38 м/сут. На побережье льды раскалываются, и огромные глыбы (айсберги) ветром и течениями уносятся в открытый океан.

Геологическая деятельность льда велика и обусловлена его движением.

Разрушительная работа ледников. При своем движении лед под действием тяжести и вмерзших в него обломков истирает и вспахивает поверхность земли, создавая котловины, рытвины, борозды. При толщине льда 100 м на ложе ледника воздействует давление 920 МПа. В результате обработки льдом поверхности пород образуются своеобразные округленные формы скал, получившие наименование «бараньих лбов», а также «курчавых скал», «штрихованных валунов» и т. д.

Двигаясь по ущельям или другой наклонной плоскости, ледники захватывают продукты разрушения путем вмораживания их в лед. Обломочный материал передвигается вместе с ледником, а при его таянии образует значительные по мощности ***ледниковые отложения***, которые носят название *«морены».* Различают перемещаемые морены *поверхностные (боковые* и *срединные), внутренние* и *донные* (рис. 34), а в отложившихся моренах – *береговые* и *конечные.*

Ледниковые отложения иногда образуют *друмлины* – холмы эллипсоидальной формы в несколько десятков метров высоты, состоящие из отложений донной морены. В их состав входят ***моренные глины с валунами***.

Репозиторий БНТУ

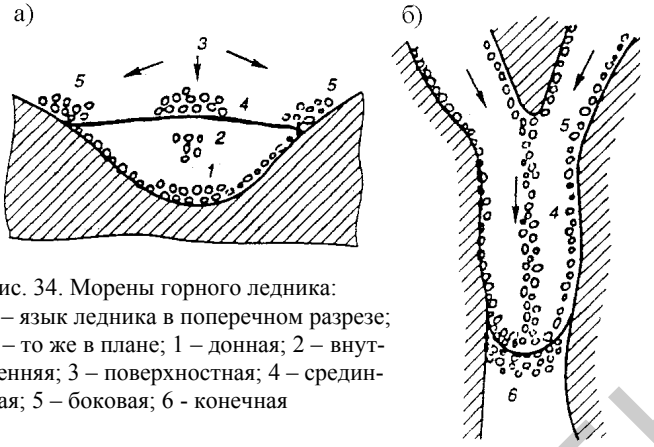

Рис. 34. Морены горного ледника:
а – язык ледника в поперечном разрезе;
б – то же в плане; 1 – донная; 2 – внутренняя; 3 – поверхностная; 4 – срединная; 5 – боковая; 6 - конечная

Моренные отложения представляют собой грубый неоднородный, неотсортированный, неслоистый обломочный материал. Чаще всего это ***валунные опесчаненные красно-бурые суглинки и глины или серые разнозернистые глинистые пески с валунами***. Морены залегают *покровами* и характеризуются мощностью в десятки метров. Конечные моренные *гряды* имеют высоту до 30 – 40 м. Среди их обломков есть все породы, по которым прошел ледник. *Донные морены* состоят из ***неслоистых и неоднородных по составу валунных глин и суглинков.***

При таянии ледника потоки талых вод размывают донную и конечную морены, вынося размываемый материал за пределы ледника и откладывая в определенной последовательности. Вблизи границ ледника остаются крупные обломки: дальше осаждаются ***пески*** и еще дальше – ***глинистый материал*** (рис. 35). Такие водноледниковые отложения получили название ***флювиогляциальных***.

При наступлении или отступлении ледника последовательно смещаются зоны накопления материала по его крупности. Если на глины накладываются пески и более крупные обломки, то значит ледник наступал, продвигался вперед, область оледенения расширялась. Наложение на крупные обломки и пески глинистых осадков свидетельствует о периоде отступления ледника (рис. 36).

Флювиогляциальные отложения представлены толщами сравнительно отсортированных и слоистых ***песков, гравия, галечника, глин и покровных суглинков***, которые имеют широкое распространение

Репозиторий БНТУ

как в пределах ледниковых отложений, так и далеко за границами оледенения. Мощность покровных супесей и суглинков достигает многих метров. Такие отложения создают характерные формы рельефа: озы, камы и зандровые поля. *Озы* – это накопление обломочного материала (песка, гравия) в виде высоких узких валов длиной от сотен метров до десятков километров при высоте 5 – 10 м. *Камы* – это холмы, беспорядочно разбросанные и состоящие из слоистых ***песков, супесей с примесью гравия и прослоев глины***. З*андровые поля* – широкие пологоволнистые равнины за краем конечных морен. В их состав входят слоистые ***пески, гравий и галька***.

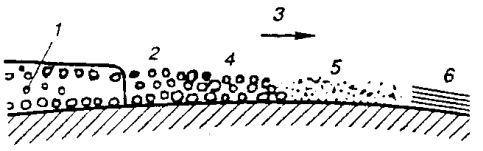

Рис. 35. Схема образования флювиогляциальных отложений:

1 – ледник; 2 – конечная морена; 3 – поток талых вод; 4 – 6 – флювиогляциальные отложения (крупные обломки, пески, глины)

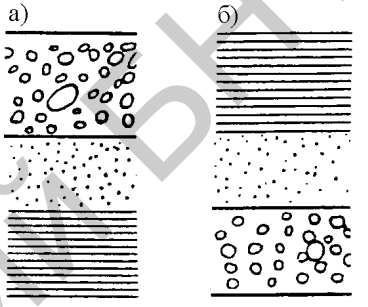

Рис. 36. Разрезы толщ ледниковых отложений при наступлении (а) и отступлении (б) ледника

В озерах под ледниками накапливаются *мелкозернистые осадки* и *ленточные глины* с чередованием прослоек светлых опесчаненных и более темных глин.

Ледниковые образования четвертичного периода обозначаются общим индексом gQ, а флювиогляциальные отложения fgQ.

Строительные свойства ледниковых отложений. Моренные и флювиогляциальные отложения являются надежным основанием для сооружений различного типа. Валунные суглинки и глины, испытавшие на себе давление мощных толщ льда, хорошо спрессованы и даже переуплотнены. Пористость их не превышает 25 – 30 %. Эти грунты слабоводопроницаемы и служат водоупором. Весьма высокими прочностными и деформационными свойствами обладают практически все разновидности морен, поэтому здания и сооружения на них дают малую осадку. Валунники с песком и валунные

Репозиторий БНТУ

пески с гравием и галькой водопроницаемы и водоносны. Это отрицательно влияет на строительные объекты, но подземную воду успешно используют для питьевых и технических целей.

Флювиогляциальные песчано-гравелистые и глинистые отложения озов и зандров уступают моренным глинистым грунтам по прочности, но являются надежным основанием. Некоторое исключение составляют ленточные глины и покровные суглинки, которые размокают. Ленточные глины достаточно плотны, слабо водопроницаемы, но при насыщения водой могут быть текучими.

Наличие случайных вкраплений отдельных валунов во всех глинистых ледниковых отложениях приводит к неравномерным осадкам и деформациям зданий.

Ледниковые отложения (камень, пески, глины), пески озов, камов и зандров пригодны для насыпей, а валуны для изготовления пьедесталов памятников (например, памятник Петру I в Санкт-Петербурге).

3.7. Движение грунтов и горных пород на склонах рельефа местности

Слагающие склоны грунты очень часто неустойчивы и при определенных условиях под влиянием гравитации они начинают смещаться вниз по рельефу. В результате этого возникают осыпи, курумы, обвалы и оползни [1-4].

Осыпи. На крутых склонах обломки скатываются вниз по склонам до места выполаживания. У подножья склонов накапливаются глыбы, щебень, более мелкие обломки образуют валы – осыпи (рис. 37). Их мощность различна и колеблется от нескольких до десятков метров.

По признаку подвижности осыпи подразделяют на *действующие, находящиеся в стадии интенсивного движения, затухающие и неподвижные*.

Из инженерных сооружений применяют улавливающие и подпорные стенки, устраивают козырьки или сетки над дорогами для спасения от отдельных падающих камней. В особо опасных местах устраивают галереи и тоннели для дорог (рис. 38).

Репозиторий БНТУ

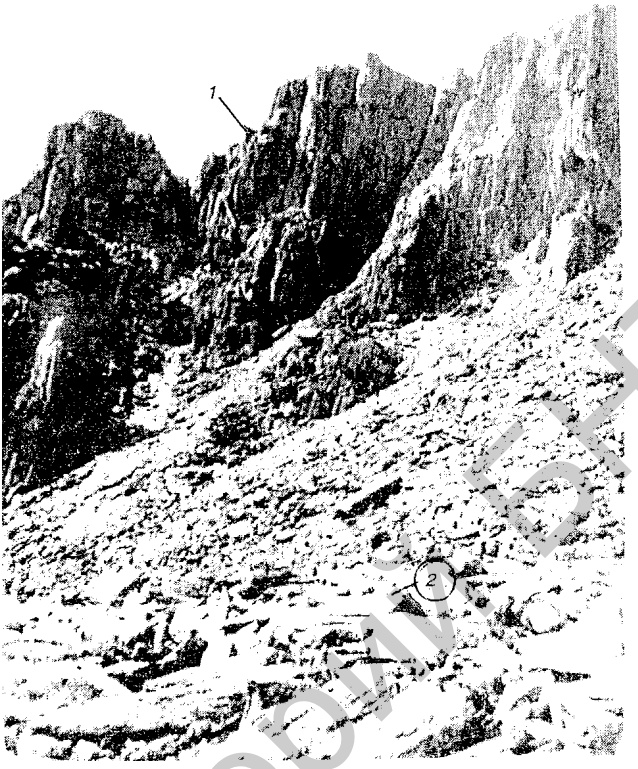

Рис. 37. Осыпи в горах:
1 – коренные породы; 2 – накопленные осыпи

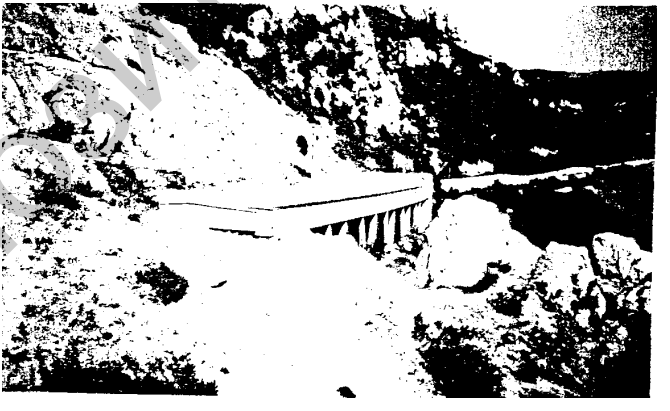

Рис. 38. Галерея для защиты дороги от осыпи

Репозиторий БНТУ

При борьбе с осовами применяют методы осушения, особенно когда источник замачивания располагается в верхней части склона. Обломочно-щебенистые осыпи служат хорошим строительным материалом.

Курумы. При разрушении скальных пород у подошвы склонов скапливаются крупные обломки и глыбы, которые более всего тяготеют к пологим склонам. Так образуются каменные россыпи или *курумы* (рис. 39) в виде массы глыб от вершины до подошвы склона при мощности от нескольких метров до 15 м на дне долин.

Рис. 39. Курумы на склоне речной долины

Масса обломков, огромных глыб постоянно ползет вниз по склону на глинисто-суглинистом слое. Движущийся по ложбинам курум называют *каменным потоком.* Курумы подразделяют на *действующие* и *затухшие.* Они разрушают сооружения, засыпают выемки и полезные площади. Останавливают курумы осушением их глинистой подстилки, для чего в верхней части склона отводят ручьи, перехватывают поверхностные воды нагорными канавами, используют дренажи. В зоне подвижных курумов дороги переносят или их проводят в тоннелях или галереях.

Обвалы. Обрушение массы горных пород получило название обвалов. Они возникают на крутых склонах (более 45 – 50°) и обрывах естественных форм и рельефа (склоны речных долин, ущелья, побережья морей и т. д.), а также в строительных котлованах, тран-

Репозиторий БНТУ

шеях, карьерах. В*ывалы* являются разновидностью обвалов при обрушении отдельных глыб и камней в откосах выемок.

Все мероприятия по борьбе с обвалами и вывалами сводятся к предупреждению их возникновения и осуществлению защитных мероприятий: устраивают подпорные и улавливающие стенки, рвы, траншеи, отводят поверхностные воды.

Оползни — это скользящее смещение грунтов на склонах долин, оврагов, балок, берегов морей, выемок под действием гравитации и напоре поверхностных или подземных вод. Оползни разрушают здания и сооружения на самих склонах и ниже их. Большой ущерб приносят оползни на берегах Черноморского побережья Кавказа, Крыма, в долинах многих рек и горных районов. Происходят оползни и в Беларуси.

Деформации в результате сползания подвергаются насыпи шоссейных и железных дорог, здания и сооружения. На оползневых склонах можно наблюдать разрушенные здания со значительными трещинами (рис. 40, 41) и иными повреждениями (рис. 42).

Рис. 40. Разрушение здания «Беларусбанка» в г. Шарковщина на склоне возле реки вследствие оползня, активизировавшегося при динамических воздействиях от забивки свай и разжижении ила в их основании

Репозиторий БНТУ

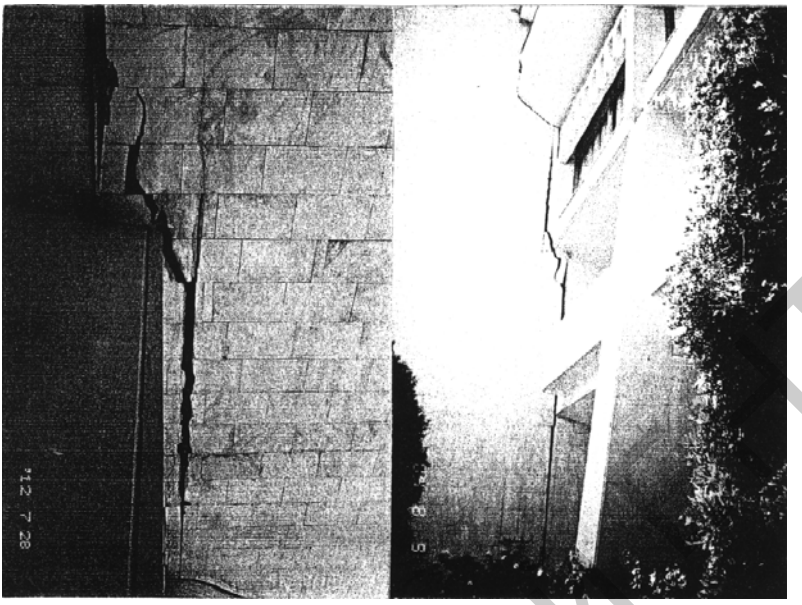

Рис. 41. Отрыв лестничной клетки от здания клуба-столовой
в санатории «Белоруссия» в п. г. т. Мисхор на ЮБК

Рис. 42. Здание Каложской церкви в г. Гродно на склоне у р. Нёман,
часть которой обрушилась при подмыве и активизации оползневого процесса

Репозиторий ГГУ

Часто внешними признаками оползней являются так называемый «*пьяный лес*» и разорванные стволы деревьев, потеря вертикальности столбов телефонной связи и электролиний, заборов, стен, появление разрывных трещин на отмостке или поверхности грунта (рис. 43). На возникновение и развития оползней оказывают влияние: высота, крутизна и форма, геологическое строение, свойства пород, гидрогеологические условия.

Рис. 43. Оползневые трещины на поверхности грунта при разрушении здания «Беларусбанка» в г. Шарковщина

Сползание может возникнуть под действием природных процессов или от производственной деятельности человека. Склоны с крутизной менее 15° оползней не образуют. Очень часто оползни проявляются при залегании слоев с падением в сторону склона. Типичными оползневыми являются глинистые образования, обладающие «ползучестью». *Устойчивость* склона определяется соотношением сил, стремящихся столкнуть массу пород вниз по склону, и сил, которые сопротивляются этому процессу.

Основными причинами оползней следует считать три группы процессов [1, 2]:

1. Изменяющие внешнюю форму и высоту склона: колебания базиса эрозии рек, оврагов; разрушающая работа волн и текучих вод; подрезка склона.

2. Изменяющие структуру и ухудшающие физико-механических свойства слагающих склон грунтов за счет выветривания; увлажне-

Репозиторий НТУ

ния подземными, дождевыми, талыми и хозяйственными водами; выщелачивания водорастворимых солей и выноса частиц текучей водой с образованием суффозионных пустот.

3. Создающие дополнительное давление на слагающие склон грунты: напор воды, статические и динамические нагрузки на склон, сейсмические воздействия.

Каждый случай образования оползня бывает связан с несколькими причинами.

В оползне выделяют следующие элементы [1, 2]:

• оползневое тело;

• поверхность скольжения (цилиндрическая, волнистая, плоская);

• бровка срыва, где произошел отрыв оползневого тела от коренного массива;

• террасовидные уступы или оползневые (не смешивать с речными) террасы;

• вал выпучивания, разбитый трещинами;

• подошва оползня – место выхода на поверхность плоскости скольжения, располагаемое выше и ниже подошвы склона или на его уровне.

В однородных грунтах типа лессовидных суглинков возникают *оползневые цирки*. Если их несколько, то между ними располагаются *межоползневые гребни.*

На склонах речных долин оползни нередко образуют *террасовидные уступы* (оползневые террасы), наклоненные в сторону, обратную падению склона.

Различают оползни *одно-, двух-* и *многоярусные.* В однородных грунтах поверхность сдвига приобретает криволинейную форму, при сложном строении склонов она может совмещаться с плоскостями напластования или, наоборот, пересекать их.

Различают оползни *действующие* и *недействующие.*

Противооползневые мероприятия. Прежде всего должно быть высококачественное выполнение инженерно-геологических изысканий. Для успешной реализации противооползневых мероприятий необходимы [2]:

• установление природы возможных форм нарушения устойчивости склона и разработка рациональных расчетных схем;

• количественная оценка степени устойчивости склона;

• выявление наиболее эффективных путей повышения степени

Репозиторий БНТУ

устойчивости склона до необходимых пределов;

• проектирование откосов с заранее заданной степенью устойчивости.

• разработка наиболее эффективных для конкретного случая оползнеудерживающих конструкций (заанкеренные подпорные стены и свайные ростверки, лучевые дрены).

Мероприятия по обеспечению охранной обстановки сводятся в основном к ограничению деятельности человека в районе склона [2]:

• *по зеленому поясу* (запрещение рубки леса, корчевания и разработки участков под огороды, уничтожение кустарника, травяного покрова);

• *по строительству* (установление границы предельной застройки, типа и веса сооружений, снос существующих сооружений, замедление темпов строительства);

• *по земляным работам* (запрещение любых разработок в пассивной зоне – у подножья, загрузки склона в активной зоне – у бровки, увеличения крутизны откоса, вскрытие неустойчивых грунтов);

• *в области водного хозяйства* (запрещение спуска поверхностных вод и поливов, содержание в порядке водоотводящих и осушительных устройств, водопроводно-канализационных систем, заделка ям, трещин, установление уровней и темпов сработки омывающих откос вод);

• *по динамическим воздействиям* (запрещение применения взрывных работ, забивки свай, работы транспортных средств).

Берегозащитные мероприятия и сооружения на водотоках и водоемах у подножья склона включают отвод и выправление русел, устройство защитных покрытий, возведение лотков, быстротоков, перепадов, стен – набережных.

Водоотводные осушительные и дренажные мероприятия и устройства делят на:

• *работы на поверхности* – планировка местности, устройство покрытий, дамб, обвалования, нагорных и осушительных канав, лотков, каптаж источников;

• *обустройство дренажей* (продольные и поперечные прорези и галереи, дренажные шахты, поглощающие скважины и колодцы);

• *выполнение изоляционных мероприятий* (устройство различных инъекционных завес, водонепроницаемых пленочных экранов, гли-

Репозиторий БНТУ

низация грунтов).

Землеустроительные мероприятия направлены на:

• разгрузочные работы в активной зоне (полный съем оползневых масс, срезка активной части оползня, очистка скальных откосов, террасирование и уполаживание склона, общая планировка склона) и пригрузки в пассивной зоне (отсыпка и отвал грунта);

• покрытие склонов плитами, металлическими и геосинтетическими сетками;

• армирование поверхности геосинтетическими материалами (сетками, ячеистыми каркасами и т. п.);

Механическое крепление склона (откоса) – устройство одиночных элементов в виде свай, проходящих сквозь оползень в коренные породы, или шпунтовых стенок, инъекционных завес и др.

Подпорные сооружения в виде шпунтовых стенок (металлических, железобетонных, деревянных), подпорных стен (каменных, бетонных, железобетонных), стен из свай-оболочек большого диаметра.

Покрытия предназначены для закрепления поверхности склона от воздействия ливневых и речных вод. Их выполняют из песчаных, гравелистых, галечных грунтов, каменной наброски и мощения, шлакоглинобетона, асфальта и асфальтобетона, бетона и железобетона, геосинтетических пленок из армированного высокопрочного полиэтилена. Для закрепления береговой зоны часто используют фашинные тюфяки.

Использование растительности для закрепления и осушения склона предусматривает сплошное травосеяние, посадку влаголюбивого кустарника, облесение склона (вяз, дуб, клен, липа, лиственница).

Искусственное уплотнение и закрепление грунтов на склоне посредством инъекций (цементация, глинизация).

Обеспечение устойчивости возводимых сооружений в зоне действий оползня для повышения безопасности включает мероприятия [2]:

• удаление неустойчивого массива на всю его мощность (до коренных неоползнеопасных пород);

• закладку глубоких фундаментов, опирающихся на устойчивые породы;

• устройство фундаментов из буронабивных свай;

• использование каркасных конструкций;

• армирование крутых откосов геосинтетическими сетками и кар-

Репозиторий БНТУ

касами;

• применение железобетонных поясов;

• устройство деформационных швов.

3.8. Суффозионные и карстовые процессы

Суффознонные процессы. При фильтрации подземная вода за счет напора вымывает из грунтов их мелкие частицы. Этот процесс *суффозии* сопровождается оседанием поверхности земли, образованием провалов, воронок (рис. 44).

Различают два вида суффозии – *механическую* и *химическую.* При механической фильтрующаяся вода выносит из грунта глинистые, пылеватые и песчаные частицы; при химической растворяет гипс, соли, карбонаты и выносит продукты разрушения.

Суффозия наиболее свойственна неоднородным грунтам при возникновении критического напора $I_{кр} > 5$. Она может происходить в *глубине* грунтового массива, особенно *на контакте* различных по составу и пористости слоев или вблизи *поверхности* земли при формировании своеобразных прослоев или вымывании пустот. Размер пустот иногда достигает нескольких метров (см. рис. 44,б), что сопровождается провалом поверхности земли, повреждением зданий и подземных коммуникаций.

В откосах строительных выемок суффозионный вынос частиц приводит к оседанию поверхности, образованию провалов, воронок, оползней.

При исследовании грунтов необходимо выявлять их способность к суффозии, определять критические градиенты и давление воды для начала процесса суффозии. При возведении объектов на суффозионных грунтах используются :

• прорезка фундаментами слоя суффозионного грунта;

• защита оснований от проникновения в них атмосферных и технических вод;

• устройство дренажей, непроницаемых завес;

• отсыпка на основании грунтовых подушек из песка или суглинков;

• предпостроечное рассоление и уплотнение грунтового основания;

• искусственное закрепление массива грунта (техническая мелиорация).

Репозиторий БНТУ

а) б)

в)

Рис. 44. Суффозионные полость за траншейной подпорной стеной гаражей «Атланта» по пер. Ольшевского (а) и провалы под полами в здании «Беларустуриста» на ул. Заславской (б) и между ростверками многоэтажного жилого дома по ул. Казинца (в) в г. Минске

Выбор этих приемов строительства зависит от геологических и гидрогеологических условий строительной площадки, типа и вида грунтов оснований, характера засоления, конструкции объекта, тех-

Репозиторий БНТУ

нических возможностей строительной организации.

Карстовые процессы. Заключаются в выщелачивании водорастворимых солей, известняков, доломитов, гипсов с ангидридами, подземными водами и образовании в них различных пустот. Для карстового процесса (в отличие от суффозии) главным является *растворение* пород и вынос из них веществ. Очень большое влияние на развитие карста оказывает *климат*, *рельеф, растительность*.

Формы карста. Из многочисленных форм карстов наиболее часто встречаются: на поверхности земли – *карры, воронки, полья* и в глубине карстутощихся толщ – *каверны и пещеры*.

При строительстве в карстовых районах необходимо осуществлять ряд мер по прекращению развития карста, повышения устойчивости и прочности пород.

В карстовых районах строят малочувствительные к неравномерным осадкам здания с фундаментами из свай. Для правильного проектирования зданий и сооружений проводят *детальные инженерно-геологические исследования* комплексного характера. При этом важную помощь могут оказать геофизические методы разведки, в частности, электроразведка и применение георадара.

Различают: *действующий* карст в современных условиях, и *пассивный* или древний, в котором нет циркуляции воды.

3.9. Плывуны

Плывунами являются водонасыщенные рыхлые мелкие и пылеватые пески, которые разжижаются при вскрытии, приходят в движение и ведут себя подобно тяжелой вязкой жидкости. Плывунные свойства могут проявлять пылеватые суглинки, супеси.

Основная причина проявления у грунтов плывунных свойств – *гидродинамическое давление* поровой воды в результате перепада (градиента) уровней воды при вскрытии котлована (траншей и т.д.). В плывунном состоянии грунты утрачивают структурные связи, частицы взвешиваются. Интенсивность плывунных явлений в грунтах зависит от величины градиента, гранулометрического и минерального состава, формы частиц, плотности.

Плывуны в покое слабо отдают воду и мало водопроницаемы. Их разделяют на ложные (псевдоплывуны) и истинные. *Ложные плывунные* пески не имеют структурных связей, их коэффициент фильтра-

Репозиторий БНТУ

ции достигает 1 – 2 м/сут. и более. Частицы песка взвешиваются, а трение между ними исчезает. Плотность в безводном состоянии колеблется от 1,5 до 1,75 т/м^3. За счет взвешивания водой образуются *зыбучие* пески. Ложные плывуны легко отдают воду, а при высыхании образуют рыхлую или слабо сцементированную массу.

Истинные плывуны – это глинистые пески, супеси и суглинки с коагуляционными или смешанными связями. Структурные связи обусловлены присутствием глинистых (< 0,005 мм) частиц с высокими гидрофильными свойствами. Пленки связанной воды вокруг этих частиц создают структурное сцепление и уменьшают водопроницаемость. Значения коэффициента фильтрации очень низкие и колеблются от 0,005 до 0,0001 см/с.

Плотность истинных плывунов в безводном состоянии равна 1,8 – 2,2 т/м^3. Разжижаются плывуны при влажности меньшей полной влагоемкости. Глинистые частицы окрашивают воды в серовато-молочный цвет. При высыхании истинные плывуны от склеивания глинистых частиц образуют сцементированные массы. Истинные плывуны слабо отдают воду. Они в котлованах скапливаются в виде «цементного» молока. Песок при этом воду не отдает и постепенно оплывает в лепешку.

В строительной практике важно определить способность грунта переходить в плывунное состояние, которое определяют на основе лабораторных анализов или в полевых условиях по образованию в буровых скважинах водопесчаных «пробок».

Плывуны осложняют строительство, заполняя строительные выработки. Они очень чувствительны к вибрации и динамическим ударам даже на значительном удалении. Имеется много случаев выпирания из-под фундаментов плывунов, вызывающих оползни, провалы поверхности, деформацию зданий и сооружений. Открытый водоотлив из котлованов опасен появлением суффозии. Подрезка склона даёт выход плывунам.

В плывунах приходится отказываться от устройств котлованов и применять сваи.

Все способы борьбы с плывунами можно разделить на 3 группы [2]:

• искусственное осушение плывунов в период строительства (откачка воды иглофильтрами и др.);

• ограждение котлованов в плывунах шпунтовыми стенками

Репозиторий БНТУ

(рис. 45);

• закрепление плывунов (силикатизация, цементация, замораживание и т. д.).

В борьбе с истинными плывунами используют лишь *ограждение, замораживание* и *электрохимическое закрепление.* При проходке подземных выработок используют кессонный способ. В котлованах при наличии плывуна забивку деревянного шпунта ограничивают глубиной 6 – 8 м, металлического — 20 – 25 м. *Замораживание* плывунов создает вокруг котлована водопроницаемую зону, но является временным и ненадежным мероприятием. *Силикатизация* (нагнетание в плывуны жидкого стекла) и цементация требуют больших затрат, но весьма эффективны.

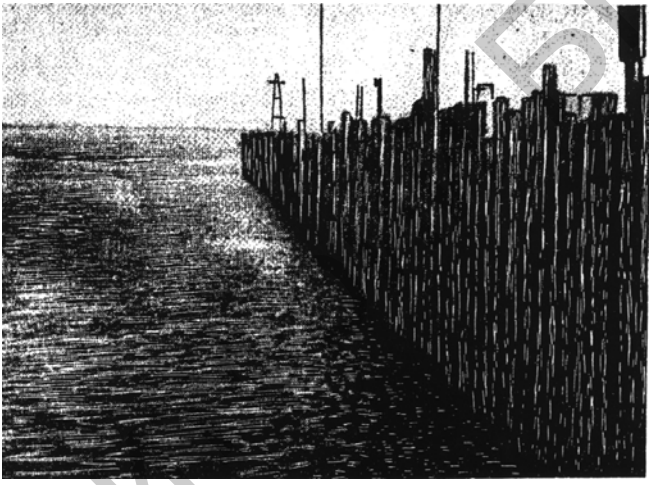

Рис. 45. Шпунтовая стенка в плывуне

3.10. Просадочные явления в лёссовых макропористых грунтах

Лёссовые грунты занимают большие площади на земной поверхности. Толщина таких отложений колеблется от нескольких до десятков метров, а в отдельных случаях даже более 100 м (Восточное Предкавказье). Лёссовые грунты представлены суглинками, реже – супесями. Среди них различают лёсс (первичное образование) и лёссовидные суглинки (переотложенные первичные образо-

Репозиторий БНТУ

вания). Для лёссов типична однородность. Лёссовидные суглинки обычно слоисты и могут содержать обломки различных пород.

Лёссовые грунты бывают палевой, палево-желтой или желто-бурой окраски. Для них характерны: способность сохранять вертикальные откосы в сухом состоянии, быстро размокать в воде, высокая пылеватость (фракции 0,05 – 0,005 мм – более 50 %), малая природная влажность (до 15 – 17 %); пористость более 40 %, сеть крупных и мелких пор, высокая карбонатность, засоление легко водорастворимыми солями.

Лёссы имеют фильтрационную анизотропность: водопроницаемость лёссов по вертикали в десятки раз больше, чем по горизонтали. Изменение их влажности по сезонам года сильно сказывается на сжимаемости, просадочности и сопротивлении сдвигу.

Среди лёссовых грунтов по характеру влияния на них увлажнения различают: набухающие, непросадочные, просадочные. *Набухающие* лёссовые грунты встречаются редко. Величина набухания достигает 1-3%, реже – 5 – 7 %.

Непросадочные лёссовидные грунты свойственны пониженным частям рельефа и распространению этих отложений в Беларуси, где они ранее сильно обводнялись.

Просадка обусловлена воздействием воды на структуру с последующим ее разрушением и уплотнением под весом самого грунта или при суммарном его давлении вместе с весом объекта. Уплотнение лёсса приводит к опусканию поверхности земли в местах замачивания водой. Вследствие опускания поверхности земли здания и сооружения претерпевают деформации в зависимости от величин просадок $S_{пр}$ (рис. 46).

Величина просадки может колебаться от нескольких до десятков сантиметров, исходя из особенностей замачивания толщи. В одних случаях структура лёссов разрушается после водонасыщения и при одновременном приложении к ней нагрузки от объекта. Эти лёссы I типа по просадочности, другие лёссы разрушаются при водонасыщении только под собственным весом, их относят ко II типу по просадочности.

Репозиторий БНТУ

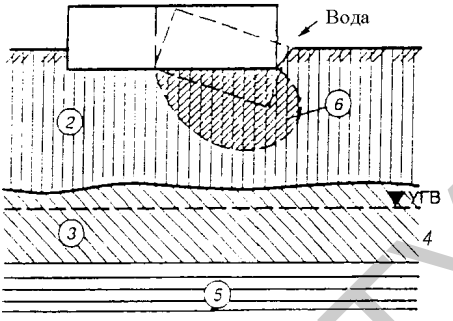

Рис. 46. Пример деформации здания над лёссовой толщей:
1 – здание; 2 – грунты просадочные; 3 – то же, непросадочные; 4 – грунтовая вода; 5 – глина (водоупор); 6 – участок, где возникла просадка

Просадочный процесс возникает лишь при некотором для данного «начальном просадочном давлении»: для грунтов I типа – 0,13 – 0,2 МПа, II типа – 0,08 – 0,12 МПа.

За количественную характеристику принимают величину относительной просадочности грунта, определяемую в лаборатории по отдельным образцам из лессовой толщи. По этой величине определяют общую просадку лёссовой толщи. В полевых условиях величину относительной просадочности определяют испытанием штампа на глубине подошвы будущего фундамента с передачей на него давления и замачивания грунта. Тип грунтовых условий (I или II) устанавливают точнее в полевых условиях замачиванием лёссовых толщ в опытных котлованах.

Строительство на лёссовых просадочных грунтах. В состоянии природной влажности и ненарушенной структуры лёссовые грунты являются достаточно устойчивым основанием. Однако без различного рода мероприятий возможно проявление просадки, что приводит к деформациям зданий и сооружений.

Наибольший эффект борьбы с просадочностью достигается при комбинировании 2 – 3 различных мероприятий, выбираемых на основе технико-экономического анализа с учетом: типа просадочности; мощности просадочных грунтов и величины просадки; конструктивных особенности зданий и сооружений. Все методы подразделяют на: водозащитные; конструктивные; устраняющие просадочные свойства грунтов.

Водозащитные меры включают планировку строительных площадок для отвода поверхностных вод, гидроизоляцию поверхности земли, предохранение зданий от утечек воды из водопроводов, устройство водонепроницаемых полов, покрытий, отмосток и т.д.

Репозиторий БНТУ

Конструктивные меры приспосабливают объекты к неравномерным осадкам, повышают жесткость стен и прочность стыков, армируют здания поясами, применяют свайные или уширенные фундаменты с давлением на грунт меньше начального просадочного. Маломощные просадочные грунты прорезают сваями.

Методы устранения просадочности грунтов подразделяют на две группы;

• улучшение свойств грунтов с применением механических методов;

• физико-химические способы улучшения свойств.

Механические методы преобразуют грунты путем поверхностного уплотнения трамбовкой, замачиванием. В глубине толщи уплотняют пробивкой скважин и заполнением их песком, известью, опрессовкой цементным раствором, управляемыми взрывами кумулятивных малых зарядов ВВ в скважинах. Находят применение также песчаные и грунтовые подушки, грунтоцементные опоры.

Ф*изико-химические* способы (обжиг грунтов через скважины, силикатизация, цементация, глинизация) не дают должного эффекта, поскольку пропитка лёсса невозможна. Характерным и убедительным примером является силикатизация лёсса в основании Одесского оперного театра. Здесь всё-таки пришлось пересаживать существующие фундаменты на ростверки с буроинъекционными сваями.

3.11. Деформации грунтов над горными выработками

Проходка подземных горных выработок (туннелей, штолен, штреков и т. д.) вызывает в массиве перераспределение естественных напряжений, причем на одних участках возникает повышенное сжатие, на других – растягивающие силы. При концентрации напряжений возникает *горное давление,* воздействующее на крепь подземных выработок за счет движения грунта в сторону выработки. Горное давление зависит от геологического строения массива и свойств пород, глубины заложения и особенностей самой выработки [1 - 4]. Оно колеблется от 0 до 1200 МПа.

Сдвижеиие горных пород. Наиболее крупные деформации зданий и сооружений возникают при сдвиге массивов грунтов над горными выработками. На этом участке в массиве происходит изгиб пластов или беспорядочное обрушение грунтов, а поверхность земли

Репозиторий БНТУ

искривляется и опускается вместе с сооружениями. Участок земной поверхности, подвергшийся сдвигу, называют ***мульдой обрушения***.

Величина осадки поверхности земли в пределах мульды различна и составляет 0,1 – 0,9 (чаще 0,6 – 0,7) от мощности разрабатываемого пласта или высоты подземной выработки. Глубина центральной части мульды сдвига колеблется от долей метра до 1 – 2 м. Размер площади мульды превышает размер выработанного пространства. Это связано с подвижкой пород не только над выработкой, но и в сторону от нее под некоторым углом, который получил название угла сдвига (рис. 47).

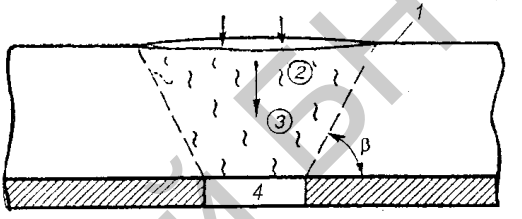

Рис. 47. Мульда сдвига грунтов:
1 – нормальная поверхность земли; 2 – поверхность мульды; 3 – деформирующийся массив грунта; 4 – подземная выработка; β – угол сдвига

Величину осадки поверхности земли (прогиба мульды), площадь мульды и наклон ее бортов определяют расчетным путем или с помощью инструментов и реперов.

Провалы поверхности земли образуются в результате обрушения грунтов в горные выработки. Размеры провалов различны и наиболее значительны в крутозалегающих пластах. При строительстве в районах подземных выработок необходимо учитывать возможность возникновения мульд сдвига, их наклон, искривление и оседание земной поверхности, что обусловливает деформации и даже разрушение наземных сооружений. В центральной части мульды осадки зданий происходят более или менее равномерно. По краям мудьды с большим наклоном и искривлением земной поверхности здания имеют неравномерные садки и сильно деформируются (рис. 48), а высокие сооружения (башни, трубы и т. д.) получают опасный крен.

Репозиторий БНТУ

Рис. 48. Разрушение здания на участке мульды

При проектировании объектов необходимо предусмотреть конструктивные или защитные мероприятия в зависимости от ожидаемых величин прогибов земной поверхности. При их очень малых значениях в местах с завершенным процессом сдвижения специальные меры не применяются, а при значительных или провалах строительство нецелесообразно. В остальных случаях можно применять меры [2]:

• рациональную ориентировку здания по отношению мульды сдвижения;

• повышение расчетного сопротивления грунтов основания за счет их упрочнения;

• разрезку зданий на отсеки;

• повышение прочности несущих конструкций и приспособление их к неравномерным осадкам;

• применение монолитных жестких фундаментов;

• использование высококачественных строительных материалов и повышенное качество строительных работ.

4. ИНЖЕНЕРНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ

4.1. Общие сведения

Грунтоведение — это наука о грунтах, т. е. любых горных породах (магматических, осадочных, метаморфических) и твердых отходах производства на поверхности земной коры, используемых при строительстве зданий, сооружений, дорог и других объектов.

Репозиторий БНТУ

Грунтоведение изучает свойства грунтов в зависимости от их состава, строения и структурно-текстурных особенностей, что является выразителем их качества [1-3].

При оценке свойств грунтов оснований большое внимание уделяется их деформативным и прочностным показателям, которые зависят от химико-минерального состава, структур и текстур, характера взаимодействия грунтов с водой, степени их выветрелости. Недоучет тех или иных особенностей свойств грунтов оснований влечет за собой ошибки при проектировании и строительстве знаний и сооружений, что в итоге приводит к утрате прочности грунтов в период эксплуатации.

Прогноз изменений свойств грунтов во времени под влиянием различных воздействий возможен только при условии полной информации о том, как они сформировались в процессе генезиса и всей последующей их «жизни».

Под термином *«генезис»* понимается происхождение горных пород или грунтов. Свойства грунтов зависят от их генезиса. В грунтоведении изучаются свойства грунтов и оцениваются свойства самих массивов.

На современном этапе грунтоведение не может развиваться без учета новейших достижений в области математики, механики, физики и химии. Выявилось взаимодействие грунтоведения с технической мелиорацией грунтов. Но особую значимость все больше стали приобретать экологические вопросы.

Поскольку при возведении промышленно-гражданских сооружений и их фундаментов в непосредственную работу вовлекаются в основном осадочные породы, остановимся несколько подробнее на вопросах их формирования.

Эти образования глинистого, пылеватого и песчаного состава часто имеют неудовлетворительные или слабо пригодные для использования свойства, которые весьма изменчивы и зависят от физико-химических условий среды, температуры, давления, длительности процессов. *Воде* принадлежит огромная роль в геологических процессах, протекающих в земной коре.

4.2. Основные категории состава, строения и состояния

Репозиторий БНТУ

Химический и минералогический состав грунтов. *Химический состав* грунтов является одной из важнейших характеристик, определяющих их свойства и состояние. При обычных исследованиях в составе инженерно-геологических изысканий для строительства обычно ограничиваются оценкой общего химического состава по результатам химического анализа по соляно-кислой и водной вытяжкам, иногда определяют валовый химический состав.

Гораздо более важной характеристикой грунтов является их м*инералогический* или минеральный состав, определяющий их состояние и инженерно-геологические свойства.

Осадочные породы (песчаники, аргиллиты, алевролиты, глины, лессы, пески, известняки, мергели и др.) содержат в наибольшем количестве кварц, полевые шпаты, слюды, встречаются минералы групп амфиболов и пироксенов.

В осадочных породах очень широко распространены глинистые минералы (каолинит, монтмориллонит, гидрослюды, бейделит, иллит и др.), образующиеся в процессе выветривания магматических и метаморфических пород.

В связи с тем, что глинистые минералы активно формируют свойства многих горных пород, необходимо их рассмотреть более подробно.

Глинистые минералы имеют размер не более 1 – 10 мк. В силу большой активности они даже при небольшом содержании существенно влияют на многие важнейшие инженерно-геологические свойства грунтов, такие как гидрофильность, прочность, водонепроницаемость, пластичность, набухание и др.

Плотность частиц глинистых минералов сильно варьируется: 1,77 – 2,60 г/см^3 – для монтмориллонита, 2,13 – 2,66 г/см^3 – для гидрослюд. В воде они практически нерастворимы, но разлагаются под действием кислот и некоторых щелочей.

Важным компонентом состава грунтов является органическое вещество «биота», которое накапливается в земной коре в результате жизнедеятельности и отмирания растительных и животных организмов. Наиболее распространены растительные органические остатки в виде неразложившихся отмерших растений или полностью разложившегося вещества «гумуса». Органическое вещество имеет

Репозиторий БНТУ

почти повсеместное распространение в верхней части земной коры, где оно накапливается в почвах, торфах, глинах (особенно старичных фаций) и реже в песках.

Для органического вещества, особенно гумуса, характерны высокие гидрофильность, влагоемкость и пластичность, низкая водопроницаемость, сильная сжимаемость и т. д. Присутствие в грунтах гумуса даже в незначительных количествах может коренным образом изменить их свойства. Всего 3% гумуса в песке снижает его водопроницаемость в сотни раз, придает ему плывунные свойства, водоустойчивость.

Гумусовые вещества обладают кислотными свойствами. Плотность органического вещества не превышает 1,25 – 1.80 г/см^2. При взаимодействии с различными растворителями гумус растворяется.

Гранулометрический состав грунтов. Количественные соотношения и размер слагающих грунты элементов являются основным классификационным показателем и имеют огромное значение при оценке инженерно-геологических свойств грунтов.

Все дисперсные грунты состоят из нескольких *фракций* или частиц определенного размера, обладающих достаточно постоянными общими физическими свойствами.

Под *гранулиметрическим составом* грунтов понимается количественное соотношение фракций или частиц различного размера. Содержание фракции выражается в процентах по отношению к массе высушенного образца. Гранулометрический состав определяют специальными методами: ситовым, отмучиванием и др. [19].

Изображение грансостава в виде графика позволяет судить об однородности изучаемого грунта. Грансостав является весьма удобным классификационным показателем и позволяет определять соответствующий вид или тип дисперсного грунта.

Газы в грунтах. Грунты обладают порами, в которых содержатся газы и вода. В зависимости от заполнения пор одним из этих компонентов грунты представляют собой двух- или трехкомпонентную систему. При полном заполнении пор водой грунты являются двухкомпонентной системой. Преобладающий компонент (вода или газ) определяет свойства грунтов.

Газы в порах грунтов находятся в состояниях *свободном, адсорбированном* и *защемленном,* а в заполняющей поры воде могут присутствовать в виде мелких пузырьков или быть растворенными в ней [2].

Репозиторий БНТУ

Адсорбированные и защемленные газы оказывают влияние на свойства грунтов. Количество адсорбированных газов на поверхности частиц зависит от минералогического состава грунтов, наличия в них гумуса и других органических веществ и соединений, от степени дисперсности, неоднородности грунта и его пористости. Больше всего адсорбированного газа содержится в сухих грунтах, по мере увлажнения их содержание уменьшается и при влажности 5 – 10 % становится равным нулю.

За счет капиллярного поднятия воды в грунтах газы из открытых пор вытесняются в атмосферу. При увлажнении грунта сразу снизу и сверху газы оказываются замкнутыми в порах внутри грунта. Так называемые «защемленные газы» или «защемленный воздух» занимают значительные объемы в толще пылеватых и глинистых грунтов.

Наличие в грунтах адсорбированных и защемленных газов обусловливает многолетнюю осадку насыпей из глинистых грунтов, деформации и разрывы земляных насыпей, уменьшение водопроницаемости грунтов.

Вода в грунтах и ее классификация. Вода в грунтах классифицируется [1-3] следующим образом: *парообразная; связанная* – прочносвязанная (гигроскопическая), рыхлосвязанная; *свободная* – капиллярная, гравитационная; *в твердом состоянии* (лед); *кристаллизационная и химически связанная*.

Парообразная вода. Водяной пар не превышает тысячных долей процента от общего веса грунта. Однако он играет большую роль в протекающих в грунтах процессах, поскольку может свободно передвигаться в порах, а при его конденсации на поверхности частиц образуются другие виды воды. Около 50 % конденсационной воды адсорбируется поверхностью грунтовых частиц, а оставшаяся ее часть в микропорах грунта переходит в связанную воду. Подвижность парообразной влаги в определенных условиях влияет на свойства грунтов, особенно глинистых, лессовых.

*Связанная вода. У*становлено, что минеральные частицы в грунтах окружены рядом концентрических слоев воды, которые удерживаются частицами с различной силой в зависимости от близости между ними. Связь между пленками воды и минеральными частицами обусловлена молекулярными силами. Связанная вода составляет более 40 % от всей содержащейся в глинистых грунтах воды. Присутствие различных категорий связанной воды в любых грунтах

Репозиторий БНТУ

резко изменяет их состояние и свойства.

По своим характеристикам связанная вода существенно отличается от свободной. Средняя плотность ее лежит в диапазоне 1,20 – 1,40 г/см^3. В диапазоне возникающих в строительной практике нагрузок вода принимается как практически несжимаемая. Связанная вода перемешается в грунтах по направлению падения электрического потенциала и температур грунта, увеличения его дисперсности, большего содержания глинистых минералов. Связанная вода замерзает при температуре, близкой к – 4°С. Её принято подразделять на прочносвязанную и рыхлосвязанную.

Прочносвязанная вода. Максимальное её количество в грунтах примерно соответствует их влажности при адсорбции частицами парообразной влаги. Содержание такой воды в грунтах определяется их минералогическим составом, дисперсностью, степенью однородности, формой и характером поверхности минеральных частиц, а также составом обменных катионов. Такой воды содержится в монтмориллонитовых глинах в пределах 0,2 – 30 % (до 20 %), а в каолинитовых – всего около 1 %.

Рыхлосвязанная вода по своим свойствам существенно отличается от прочносвязанной и подразделяется на пленочную и осмотическую.

Пленочная влага облекает собой прочносвязанную и удерживается молекулярными силами в значительно меньшей степени. Общее содержание прочносвязанной и пленочной воды составляет так называемую *максимальную молекулярную влагоемкость*. Она у песка составляет около 1 – 2 %, а в монтмориллонитовых глинах почти 135 %.

Осмотическая вода образуется в результате проникновения молекул воды из грунтовых растворов. Наличие осмотической влаги в глинистых грунтах обусловливает их пластичность в определенных диапазонах влажности.

Свободная вода. Рассмотрим сначала к*апиллярную* воду, которая формируется за счет поднятия воды вверх от уровня грунтовых вод, образуя над ними в массиве грунта капиллярную кайму мощностью $H_к$. Капиллярное поднятие зависит от степени дисперсности, неоднородности грунта, его минералогического состава, формы и характера поверхности частиц, плотности и пористости грунта (в песках она равна в среднем 50 см, а в супесях и других глинистых грунтах доходит до 2 – 3 м).

Репозиторий БНТУ

Влажность грунта, у которого все поры заполнены капиллярной водой, называют *капиллярной влагоемкостью*. Наибольшее количество подвешенной влаги, которое может удерживаться грунтом, называют *наименьшей влагоемкостью* или *водоудерживающей способностью* грунта. Вся влага сверх наименьшей влагоемкости стекает по порам в нижележащие слои массива или слоистой толщи грунта.

Капиллярная вода, подобно гравитационной, передает гидростатическое давление. Температура замерзания у нее может быть значительно ниже нуля (при диаметрах капилляров 1,6 мм – 6,4 °С; при 0,06 мм – 19 °С.). Эта вода способна передвигаться за счет разности температур (от холода к теплу).

Гравитационную воду подразделяют на: просачивающуюся и грунтового потока. Первый вид воды располагается преимущественно в зоне аэрации и перемещается под действием гравитационной силы сверху вниз. *Зона аэрации* — это часть грунтового массива между поверхностями земли и грунтовых вод; в этой зоне грунт находится в трехфазном состоянии: минеральные частицы – воздух – вода. Движение воды продолжается до слоя грунта с малой водопроницаемостью, т. е. водоупора. Движение воды в водоупоре происходит только под напором водного потока. Слой грунта, в котором движется водный поток, называют *водоносным горизонтом.*

Максимально возможное содержание связанной, капиллярной и гравитационной воды в грунте при полном заполнении его пор называют *полной влагоемкостью грунта.*

Гравитационная вода практически всегда находится в движении. Проблемами динамики подземных вод и их влиянием на строительные свойства грунтов занимается *гидрогеология.* Движущаяся вода способна к растворению горных пород, выносу из них частиц, т. е. к изменению структуры и состава грунтов, к образованию и активизации геологических процессов. Минерализация подземных вод увеличивается с глубиной.

Вода в твердом состоянии. При температурах ниже нуля гравитационная вода замерзает и превращается в лёд, который бывает представлен в грунте прослоями различной мощности или рассеян в его толще отдельными кристаллами. Лёд играет роль природного цемента, скрепляющего частицы, резко изменяет свойства грунта.

Кристаллизационная и химически связанная вода, часто назы-

Репозиторий БНТУ

ваемая конституционной, участвует в формировании кристаллических решеток различных минералов, таких как гипс ($CaS0^4$ x $2H_20$) и ряда других.

Химически связанная вода входит в состав таких соединений, как гидроксиды или лимонит. Для того чтобы удалить химически связанную воду из минерала, его нужно нагреть до 200 °С, а это может привести к распаду (разрушению) минерала.

Величина усадки глинистых грунтов при потере ими влаги существенно возрастает с увеличением содержания в грунте глинистых частиц (особенно монтмориллонита), т. е. с увеличением предела текучести. Усадка при высыхании может быть одной из причин переуплотненного состояния грунтов.. Особенно часто это проявляется в тяжелых суглинках и глинах у поверхности земли в районах со сравнительно сухим климатом.

4.3. Строение грунтов

Общие понятия. Под ***строением*** грунтов понимают совокупность их структурно-текстурных особенностей, т. е. их ***структуру*** и ***текстуру***. В переводе с латинского «структура» — это строение, расположение, устройство, построение, а «текстура» — ткань, соединение, связь. Под ***структурой грунта*** понимают размер, форму, характер поверхности, количественное соотношение слагающих его элементов (минералов, обломков минералов и пород, других отдельных частиц, агрегатов, цемента) и характер взаимосвязи их друг с другом, а под ***текстурой*** — пространственное расположение слагающих элементов грунта (независимо от их размера).

Все структурные элементы (минеральные зерна и обломки) грунтов связаны между собой структурными связями (прочными, кристаллизационными и весьма слабыми).

Типы структурных связей. *Структурные связи* являются одной из самых важных характеристик, от которых во многом зависят их инженерно-геологические свойства и состояние грунтов. Такие связи возникают в результате физико-химических процессов: кристаллизации, старения, конденсации содержащихся в породе соединений, а также адсорбции, миграции, пропитки и кристаллизации проникающих в грунт цементирующих веществ из окружающей среды. Существующие методы технической мелиорации (изменения

Репозиторий БНТУ

свойств) грунтов позволяют формировать у них заданные свойства или изменять их в нужном направлении, создавая искусственные связи путем цементации.

Химическая связь возникает при контакте минеральных зерен друг с другом, а также при наличии между зернами прочного цементирующего вещества.

Более сложный характер имеет *молекулярная* и *ионно-электростатическая связь*. При сближении атомов или двух микроскопических тел между ними в определенных условиях возможно взаимодействие благодаря молекулярным (Ван-дер-Ваальсовым) силам, носящим универсальный характер. Наиболее оптимальными условиями для проявления молекулярных связей являются высокая плотность и низкая влажность тонкодисперсных пород. Поэтому глинистые грунты всегда имеют максимальную прочность в высушенном состоянии. Во влажных глинах, некоторых разновидностях мела и мергеля имеют место молекулярно-ионно-электростатические связи.

Форма и характер поверхности (морфология) слагающих горную породу элементов. Генезис горной породы играет весьма существенную роль в формировании морфологических особенностей ее минеральных зерен. Особенно важное значение для инженерно-геологических свойств морфологический облик имеет в дисперсных осадочных породах, в основном песчаных, супесчаных, крупнообломочных.

При переносе и отложении минеральные зерна и их обломки приобретают ту или иную степень обработанности. Зерна могут быть окатанными или неокатанными с шероховатой, полированной, кавернозной или иной поверхностью

Роль структурно-текстурных особенностей грунтов. В тонкодисперсных глинистых, пылеватых, песчаных и крупнообломочных грунтах выделяется несколько типов текстур: горизонтально-косослоистая, линзовидная, «с признаками ряби» и т. д. Пористость грунтов определяет возможность их доуплотнения под нагрузкой, прочностные, деформационные и фильтрационные свойства.

Для многих грунтов характерна анизотропность свойств, обусловленная их типичной сланцеватостью и слоистостью или наличием вертикальных макропор. Прочность на сжатие, сопротивление сдвигу, модуль упругости значительно менее вдоль сланцеватости, слоистости или ориентации макропор, чем перпендикулярно им.

Репозиторий БНТУ

4.4. Состояние грунтов

К характеристикам состояния скальных грунтов относят *степень трещиноватости, выветрелости, влажности, водонасыщенности, плотности*, которые определяют в образцах и в массиве. Предел прочности на сжатие в образце существенно больше, чем в массиве, иногда до двух порядков. Трещины выветривания заполнены вторичным минеральным материалом, повышают неоднородность массива и уменьшают прочностные, деформационные и фильтрационные свойства грунтов в массиве.

Степень влажности чаще всего учитывают при оценке свойств дисперсных грунтов. Она определяет возникновение, «оживление», развитие таких неблагоприятных явлений и процессов, как оползни, солифлюкция, способствует возникновению селей и других явлений. Степень влажности сказывается на деформационно-прочностных характеристиках грунтовых массивов, на консолидации водонасыщенных глинистыз грунтов в основании сооружений от приложенных к ним нагрузок

Для дисперсных несвязных грунтов особое значение имеет степень их плотности. Недоуплотненное состояние эоловых мелких и пылеватых, эолово-морских (дюнных) песков, лёссов различного генезиса является одной из причин просадочных явлений, отчасти разжижения песков, неравномерных деформаций в основании сооружений, нарушения устойчивости в откосах естественных и искусственных выемок. Все перечисленные состояния грунтов в их «предельных» значениях резко ухудшают свойства массивов при приложении вибрационных, динамических, в частности, сейсмических нагрузок. Сильнотрещиноватые, выветрелые, водонасыщенные или влажные недоуплотненные грунты в массиве значительно снижают возможность использования их в основании ответственных сооружений. При расчетах на сейсмическую устойчивость сооружений, проектируемых на таких грунтах, требуется увеличивать расчетные значения сейсмических воздействий в некоторых случаях на 1 балл выше установленной для всего района общей сейсмической интенсивности.

4.5. Классификация грунтов

Репозиторий БНТУ

Первые классификации грунтов появились во второй половине **XIX в. Этим занимались такие крупные специалисгы, как И.В. Попов, В.А. Приклонский, П.Н. Панкратов, Е.М. Сергеев, Л.Д. Белый. Классификация грунтов отражает их свойства, основываясь исключительно на генетическом подходе.**

Инженерно-геологическая классификация горных пород как грунтов разработана Н.Н. Масловым [3]. Исходя из прочности и связи между зернами и минералами породы разделяют на 2 группы:

1 – ***с жесткими структурными связями***;

2 – ***без жестких структурных связей***;

Вторая группа подразделяется на три крупные подгруппы*:*

а – ***связные (глинистые) и пылеватые*;**

б – ***обломочные несцементированные или несвязные (сыпучие)***;

в – ***биогенные*** (***особого состава или состояния)***.

Породы с жесткими структурными связями (скальные). К ним относятся *магматические, метаморфические и сцементированные осадочные* породы. Последние образуются в виде конгломератов, брекчий, песчаников, алевролитов и аргиллитов из крупнообломочных и песчаных грунтов при их цементации в природных условиях за счет веществ, выделяющихся из водных растворов и проникающих в поры либо при выпадении из растворов в осадок гипса, кальцита, кремнийкислоты, гидроксидов железа и других соединений. Зона цементации располагается на некоторой глубине ниже зоны выветривания. Наиболее прочными являются базальтовый и кремнеземистые цементы.

Обломочные сцементированные породы в зависимости от размера составляющих частиц подразделяют на **крупнообломочные (конгломераты, гравелиты, брекчии)** и **мелкообломочные песчаные (крупно-, средне-, мелко-, тонко- и разнозернистые песчаники)**. Определяющее влияние на прочность всех их оказывает состав и размеры фракций, вид цементирующих веществ, а также возраст. От древних пород к молодым меняется характер цемента и увеличивается пористость, что снижает прочность.

Пылеватые и глинистые сцементированные породы представлены **аргиллитами** и **алевролитами**. Они возникли при «окаменении» песчано-пылеватых и глинистых грунтов вследствие их уплотнения, повышения температуры и кристаллизации коллоидов.

Репозиторий БНТУ

Аргиллиты типичны для платформенных областей, алевролиты встречаются в платформенных и в складчатых областях. Им всем характерна слоистость и анизотропия свойств. Решающую роль в прочности этих пород играют тип и состав цемента, причем они чаще всего менее прочны в сравнении с песчаниками.

К ***хемогенным*** породам относят **известняки, известковый туф, доломит, ангидрит, гипс, каменную соль и др**. Они образовались в результате выпадения химических осадков из водных растворов. Общей особенностью для них является растворимость в воде и трещиноватость, что способствует возникновению карста.

Органогенные (биохемогенные) породы образуются в результате накопления и преобразования остатков животного мира и растений. К ним относятся **известняк-ракушечник, диатомит и трепел**. Они имеют значительную пористость, растворимы водой и сильно сжимаемы. Диатомит и трепел относятся к кремнистым породам. Используются преимущественно в промышленности строительных материалов.

Среди ***карбонатных*** осадочных пород наиболее широко распространены **известняки** и **доломиты**, реже **мел**. К смешанному типу относятся различные мергели, известковые песчаники. Прочность всех их тесно связана с генезисом и со структурой. Мергели, имеющие известково-глинистый состав, могут набухать при насыщении водой трещин, но при этом снижается их водопроницаемость. Мел в сухом состоянии достаточно плотный, но при насыщении водой обладает мягкой консистенцией.

Сульфатные и галлоидные породы представлены **гипсом**, **каменной солью**, **сильвином, сильвинитом и карналлитом**. Все они растворимы водой. Используются как очень ценное сырье для различных отраслей химической промышленности.

Магматические, метаморфические и сцементированные осадочные породы относятся к скальным грунтам. Их классифицируют:

По водостойкости:

а – водостойкие (практически все магматические, метаморфические, сцементированные водостойкими цементами осадочные породы);

б – водонестойкие (выщелачивающиеся) – известняки, т.е. большинство химических осадков.

По прочности:

Репозиторий БНТУ

1. Скальные с временным сопротивлением сжатию более 40 МПа:

а – крупно- и среднезернистые магматические (гранит, сиенит, диорит, габбро);

б – магматические мелкозернистые и порфировидные (гранит-порфирит, сиенит-порфирит, габбро-порфирит);

в – скрытокристаллические порфировые (кварцевый порфир, липарит, порфирит, диабаз, базальт);

г – метаморфические с массивной структурой (кварцит и мрамор);

д – метаморфические со сланцеватой структурой (гнейсы, кристаллические сланцы);

е – осадочные обломочные (песчаники, алевролиты, конгломераты и брекчии с карбонатными или кремнистыми цементами);

ж – органогенные (окремневшие известняки и доломиты).

2. Скальные с временным сопротивлением сжатию 5 – 40 МПа.

Все породы изверженные (магматические) и метаморфические первой группы, но имеющие меньшую прочность в результате их выветривания.

Осадочные сцементированные (песчаники, конгломераты и брекчии с глинистым цементом, глинистые сланцы, известняки и доломиты).

Породы без жестких структурных связей

а. Грунты связные (глинистые)

Водостойкие (*слаборазмягчаемые*) – аргиллиты, мергели. У них малая сжимаемость, прочность невысокая.

Размягчаемые – глина, суглинок, супесь различного происхождения. Их прочность зависит от влажности и определяется консистенцией (густотой теста), по которой состояние классифицируется на: *твердое*, *пластичное*, *текучее*. По сжимаемости в зависимости от состояния подразделяются на: *слабо-*, *средне-* и *сильносжимаемые*.

Глинистые грунты являются водонепроницаемыми, но влагоемкими.

При определении физико-механических характеристик глинистых грунтов в лабораторных условиях очень важно сохранить естественную влажность. Свойства их сильно зависят от возраста. Древние уплотненные глины при попадании в зону попеременного увлажнения легко разрушаются.

Репозиторий БНТУ

Осадки фундаментов на глинистых грунтах протекают медленно и могут длиться десятилетиями и более («Вековая осадка» Пизанской башни).

Грунты сыпучие

а – *водостойкие* (невыщелачиваемые) – песок кварцевый или полевошпатовый, крупнообломочные и песчаные грунты из водостойких обломков пород;

б – *водонестойкие* – крупнообломочные грунты из водонестойких обломков пород.

Прочность этих грунтов определяется в основном внутренним трением, т.е. зависит от характера зацепления. По отношению к воде – водопроницаемы.

На свойства этих грунтов оказывает влияние не столько влажность как плотность сложения. По этому признаку сыпучие грунты бывают плотные, средней плотности и рыхлые (прочные, средней прочности и слабые соответственно), что выражается также в их слабой, средней и сильной сжимаемости под воздействием давления. По степени насыщения водой они бывают маловлажными, влажными и насыщенными водой.

Грунты особого состава (особые)

К ним относятся все грунты, не вошедшие в вышеназванные классы: лёссы, торфы, илы, мел, почвы, насыпные и намывные и др. Они обладают большой пористостью, могут давать большие осадки при сжатии (лёссовые – просадки от замачивания).

Биогенные (фитогенные) грунты – это торфы, которые образуются в результате отмирания и разложения болотной растительности в условиях избыточного увлажнения и недостаточного доступа кислорода. Торф по внешнему виду представляет собой увлажненную волокнистую массу при малой степени разложения или пластичную при сильном разложении. В зависимости от содержания гумуса он бывает от светло-коричневого до почти черного. В нем имеется также минеральная составляющая, которая не превышает 40%. В естественном залегании влажность торфа достигает 500-1000 и даже 2000%. Плотность составляет преимущественно 0,07-0,2 г/см^3, реже 0,5 г/см^3. Имеет чрезмерно повышенную сжимаемость и упругие свойства. Прочностные характеристики сильно зависят от по-

Репозиторий БНТУ

ристости, влажности и степени разложения. Наличие слоев и линз погребенных торфов в основании фундаментов способствует возникновению неравномерных их осадок. Торф имеет важное значение как энергоноситель (топливо), удобрение и сырье для химической промышленности.

Почвы являются поверхностными отложениями. Они также содержат много (до 20-22%) органических веществ (*гумуса*) в результате отмирания и разложения растительности и микроорганизмов. Согласно В.И.Вернадскому, почвы являются переходной гранью между живой и неживой природой. По происхождению почвы бывают: тундровые, подзолистые и дерново-подзолистые, болотные, сероземные, красноземные, черноземовидные, засоленные.

Наличие почв в грунтовых толщах резко ухудшает их строительные свойства, поэтому их в качестве оснований сооружений стремятся не использовать, тем более, что их мощность невелика.

Культурный слой также формируется в результате хозяйственно-культурной деятельности человека и имеет сложный минералогический и органический состав. При огромных масштабах градостроительства и урбанизации этот слой широко вовлекается в строительную практику. В связи со значительной неоднородностью и изменчивостью состава, строения и свойств его изучение требует чрезвычайной тщательности.

Лёссовые грунты имеют пылеватый состав, содержат большое количество карбонатов (наиболее характерный среди них кальцит) и обладают макропористостью, вследствие чего являются просадочными. В силу формирования в сухих условиях за счет деятельности ветра возникновение макропор обусловлено отмиранием глубоко проникающей до влажных слоев корневой системы растительности. В этой связи лёссы обладают ярко выраженной фильтрационной и механической анизотропией с преобладанием значительной водопроницаемости по вертикали. Просадочность, т.е. сильное уменьшение в объеме даже только от собственного веса при замачивании, у лёссов очень тесно связана с содержанием водно-растворимых соединений. Под напором проникающей по макропорам воды нарушаются структурные связи между глинистыми и пылеватыми фракциями, что приводит к их существенной переупаковке.

Репозиторий БНТУ

Диапазон пористости лёссов весьма велик и в зависимости от генетических типов составляет 30 – 60 %. Модуль деформации при этом изменяется в диапазоне 2 – 52 МПа.

Строительство на лёссах связано с большими сложностями. Даже при устройстве свайных фундаментов возникают серьезные проблемы в силу возникновения так называемого отрицательного (негативного) трения по боковым поверхностям стволов свай. На склонах из лёссовых грунтов при их размыве сильно проявляется овражообразование. Во влажных условиях Беларуси покровные супеси и суглинки лёссовидные, хотя и имеют карбонатный состав, но обладают более плотным сложением и не являются просадочными. Однако они также весьма чувствительны к динамическим нагрузкам и избыточному увлажнению, за счет которых резко ухудшают свои прочностные и деформативные характеристики.

Искусственные грунты возникают в результате сознательного изменения человеком свойств грунтов при решении различных инженерных задач. Такие изменения достигаются уплотнением грунтов или их упрочнением за счет перемешивания, армирования или закрепления различными эмульсиями и растворами (цементными, битумными, глинистыми, силикатными – жидким стеклом, карбамидными смолами и др.). Свойства грунтов могут изменяться также термическими способами при обжиге и замораживании. К искусственным относятся грунты, возникшие в результате планомерной или неплановой отсыпки или же посредством намыва с использованием гидромеханизации.

Грунты с ухудшенными против природного состояния свойствами чаще всего возникают при производстве отдельных видов строительных работ: разрыхление, переувлажнение, выветривание при вскрытии толщ.

В настоящее время грунты согласно СТБ 943-93 и ГОСТ 25100-95 разделяют на следующие классы – природные: скальные, дисперсные, мерзлые и техногенные образования. Каждый класс имеет свои подразделения.

Скальные грунты. Их структуры имеют жесткие кристаллические связи, например, гранит, известняк. Класс включает две группы: 1) скальные, куда входит три подгруппы пород: магматические, метаморфические, осадочные сцементированные и хемогенные; 2) полускальные в виде двух подгрупп – магматические излившиеся и оса-

Репозиторий БНТУ

дочные породы типа мергеля и гипса. Деление грунтов этого класса на типы основано на минеральном составе, например, силикатные – гнейсы, граниты, карбонатные – мрамор, хемогенные известняки. Разделение грунтов на разновидности проводится по прочности: гранит – очень прочный, вулканический туф – менее прочный; по растворимости в воде: кварцит – очень водостойкий, известняк – неводостойкий.

Дисперсные грунты. К ним входят осадочные горные породы. Класс разделяется па две группы – связных и несвязных грунтов. Для этих грунтов характерны механические и водноколлоидные структурные связи. Связные грунты делятся на три типа – минеральные (глинистые образования), органо-минеральные (илы, сапропели и др.) и органические (торфы). Несвязные грунты представлены песками и крупнобломочными грунтами (гравий, щебень и др.). В основу разновидностей грунтов положены плотность, засоленность, гранулометрический состав и другие показатели.

Мерзлые грунты имеют криогенные структурные связи, т е. цементом грунтов является лед. В состав класса входят практически все скальные, полускальные и связные грунты в условиях отрицательных температур. Разновидности мерзлых грунтов основаны по льдистости, засоленности, температурно-прочностным свойствам и др.

Техногенные грунты представляют собой, с одной стороны, природные грунты, которые были подвергнуты физическому или физико-химическому воздействию, с другой стороны, искусственные минеральные и органоминеральные образования, сформировавшиеся в процессе бытовой и производственной деятельности человека. Их нередко называют антропогенным образованием. Разновидности техногенных грунтов выделяются на основе специфических особенностей свойств.

Каждый грунт имеет свои, только ему присущие строительные свойства. В оценке свойств грунтов, входящих в расчеты оснований фундаментов, наибольшее значение имеют физико-механические характеристики. Значения показателей этих характеристик позволяют выполнять необходимые расчеты при проектировании зданий и сооружений.

Характеристики *физических* свойств выражают физическое состояние грунтов (плотность, влажность и др.) и позволяют их классифицировать по типу, виду и разновидностям. Под *механическими* подразумевают свойства, которые появляются в грунтах под воз-

Репозиторий БНТУ

действием внешних усилий (давления, удара). Механические свойства оцениваются прочностными и деформационными характеристиками грунтов.

К физическим свойствам нескальных грунтов, определяемым экспериментально и используемым непосредственно в расчетах оснований, относятся коэффициент фильтрации K_ϕ и плотность грунтов ρ. Важными расчетными характеристиками являются коэффициент пористости e, степень влажности S_r и показатель текучести I_L. Они характеризуют состояние грунтов. По коэффициенту пористости определяют плотность сложения песчаных грунтов. Показатель текучести I_L характеризует подвижность глинистых частиц при механических воздействиях на грунт. Значение S_r отражает степень заполнения пор грунтов водой.

Прочность скальных грунтов оценивается максимальной нагрузкой, приложенной к нему в момент разрушения (потери сплошности). Эта характеристика называется *пределом прочности* R_c, МПа, или временным сопротивлением сжатию. На прочность грунтов влияют: минеральный состав, характер структурных связей, трещиноватость, степень выветрелости, степень размягчаемости в воде и др.

Для нескальных грунтов характеристикой прочности является ***сопротивление сдвигу***. Определение этого показателя необходимо для расчета устойчивости, т. е. несущей способности оснований и откосов строительных котлованов, давления грунта на подпорные стены и т. д. Сопротивление сдвигу оценивается силами внутреннего сдвига (φ, град., и сцепления C, кПа).

Деформационные свойства характеризуют поведение грунтов под нагрузками не более критических и не приводящих к разрушению. Они оцениваются модулем деформации E, МПа.

Реологические свойства грунтов. Свойства грунтов могут изменяться во времени в силу воздействия процессов выветривания и многолетнего воздействия больших нагрузок. Все это приводит к «усталости» грунтов, их структура расслабляется. В результате деформаций ползучести и даже текучести грунт разрушается и здание деформируется. Этот процесс называют реологическим, он часто наблюдается при строительстве сверхвысоких зданий и крупных промышленных объектов.

4.6. Физико-механические свойства грунтов

Репозиторий БНТУ

Физические свойства грунтов. Инженерно-геологические свойства грунтов являются весьма емким понятием, охватывающим их физические, водно-физические и механические свойства. Определение этих свойств, назначение их расчетных значений при проектировании оснований и фундаментов различных сооружений, прогноз их изменений во времени являются главной конечной целью грунтоведения.

Отметим вначале наиболее характерные физические свойства грунтов согласно СТБ 943-93 и ГОСТ 25100-95. К числу наиболее важных характеристик относятся плотность и пористость грунта.

Плотность грунта — это *от*ношение массы грунта, включая массу воды в ее порах, к занимаемому этим грунтом объему. Плотность грунта зависит от минералогического состава, влажности и характера сложения (пористости).

$$\rho = m/V,$$

где ρ – плотность грунта, г/см^3, кг/м^3, т/м^3; m – масса грунта с естественной влажностью и сложением, г, кг, т; V – объем, занимаемый грунтом, см^3, м^3.

Плотностью частиц грунта называют отношение массы сухого грунта без воды в его порах к объему твердой части этого грунта:

$$\rho_s = (m - m_w)/V_s,$$

где ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3, т/м^3, m_w – масса воды в порах грунта, г, кг, т; V_s —объем твердой части грунта, см^3, м^3.

Плотность частиц грунта изменяется для всех грунтов в небольших пределах от 2.61 до 2,75 г/см^3 и определяется только минералогическим составом.

Удельный вес грунта — характеризует отношение веса грунта с водой в его порах к занимаемому этим грунтом объему, включая поры:

$$\gamma = \rho g,$$

где γ – удельный вес грунта, кН/м^3; g – ускорение свободного падения, равное 9,8 м/с^2.

Плотность сухого грунта представляет собой отношение массы минеральных частиц грунта (твердой части грунта) при естест-

Репозиторий БНТУ

венной структуре без воды в его порах к занимаемому этим грунтом объему:

$$\rho_d = (m - m_w)/V,$$

где ρ_d – плотность сухого грунта, г/см^3, кг/см^3, т/м^3; $(m - m_w)$ – масса сухого грунта, г, кг, т; V – объем, занимаемый грунтом, см^3.

Плотность сухого грунта — величина более постоянная по сравнению с плотностью грунта и обычно вычисляется по данным определений плотности и влажности:

$$\rho_d = \rho/(1 + 0{,}01w),$$

где ρ – плотность грунта, г/см^3; ρ_d – плотность сухого грунта, г/см^3; w – влажность грунта, %.

Удельный вес частиц грунта характеризует отношение веса сухого грунта к объему его твердой части:

$$\gamma_s = m_s/V_s;$$

где γ_s – удельный вес частиц грунта, кН/м^3.

Удельный вес сухого грунта характеризует отношение веса сухого грунта ко всему занимаемому этим грунтом объему:

$$\gamma_d = \gamma/(1 + 0{,}01w);$$

где γ_d – удельный вес сухого грунта, кН/м^3.

Значения плотностей применяют для характеристики физических свойств грунта основания или строительного материала, а также в динамических расчетах оснований.

Значения удельных весов используют непосредственно в остальных расчетах оснований, в частности при определении природного давления, при расчете осадки.

Пористость грунтов представляет собой характеристику пустот или свободных промежутков между минеральными частицами грунта. Её обычно выражают в виде процентного отношения объема пустот к общему объему грунта:

$$n = (V_n/V)100\%,$$

где V_n – объем пустот грунта, см^3; V – объем, занимаемый грунтом, см^3.

Репозиторий БНТУ

Пористость можно выразить через значение плотности грунта:

$$n = (1 - \rho_d / \rho_s)100\%.$$

Приведенной пористостью или коэффициентом пористости называют отношение объема пустот (пор) к объему твердых минеральных частиц грунта. Коэффициент пористости выражается в долях единицы.

$$e = Vn / Vs;\ e = n / (1\text{-}n);\ \text{или}\quad e = (\rho_s - \rho_d) / \rho_s .$$

Водно-физические свойства грунтов. ***Влажностью грунта w*** называют отношение массы воды, содержащейся в его порах, к массе сухого грунта (высушивание образца нужно производить в термошкафу при t = 105...107 °С в течение 8 ч и более).

Влажность грунта служит важнейшей характеристикой физического состояния, определяющей прочность, деформируемость и другие свойства при использовании в инженерных целях.

Под ***естественной (весовой) влажностью грунта w***, %, понимается количество воды, содержащееся в грунте в естественных условиях:

$$w = 100\ (m - m_s) / m_s ,$$

где m – масса грунта вместе с содержащейся в нем водой, г; m_s – масса высушенного грунта, г.

Максимально возможное содержание в грунте связанной, капиллярной, гравитационной воды при полном заполнении пор называют ***полной влагоемкостью грунта*** и определяют по формулам:

$$w_n = 0{,}01n / \rho_d \quad \text{или} \quad w_n = e\,\rho_w / \rho_d .$$

Под ***гигроскопической влажностью*** понимают влажность воздушно-сухого грунта. ***Степенью влажности*** или ***относительной влажностью*** называют степень заполнения пор грунта водой, которая характеризует отношение объема воды к объему пор грунта:

$$S_r = w\,\rho_s\,(100 - n) / n \quad \text{или} \quad S_r = w\,\rho_s / e\,\rho_w ,$$

где S_r – степень влажности грунта, %; w – естественная влажность грунта, %; ρ_s – плотность частиц грунта, г/см^3; n – пористость, %; ρ_w – плотность воды, см^3; e – коэффициент пористости.

По степени водонасыщенности все рыхлые грунты подразделяют

Репозиторий БНТУ

на четыре основные группы по величине S_r: сухие – 0 – 0,2; слабовлажные – 0,2 – 0,4; влажные – 0,4 – 0,8; насыщенные водой – 0,8 – 1.0.

Максимальная молекулярная влагоемкость характеризует содержание прочносвязанной, рыхлосвязанной воды и воды ближней гидратации, т. е. влажность грунта при максимальной толщине пленок связанной воды вокруг минеральных частиц.

Пластичность — способность грунта изменять под действием внешних сил (давления) свою форму, т. е. деформироваться без разрыва сплошности и сохранять полученную форму после прекращения действия внешней силы. Пластичность грунта во многом определяет его деформируемость.

Деформируемость глинистых грунтов под действием давления зависит от их консистенции (относительной влажности). Чтобы выразить в численных показателях пределы влажности грунта, при которой он обладает пластичностью, введены понятия о нижнем и верхнем пределах пластичности.

Нижним пределом пластичности w_p или ***границей раскатывания*** называют такую влажность глинистого грунта, при которой глинистая масса, замешанная на дистиллированной воде, при раскатывании ее в жгутик диаметром 3 мм начинает крошиться вследствие потери пластических свойств, т.е. такая влажность, при которой связный грунт переходит из твердого состояния в пластичное.

Верхний предел пластичности w_L или ***граница текучести*** – такая влажность глинистого грунта, при которой глинистая масса, положенная в фарфоровую чашку и разрезанная глубокой бороздой, сливается после трех легких толчков чашки ладонью. При большей влажности глинистая масса течет без встряхивания или при одном-двух толчках, т. е. такая степень влажности, при которой связный грунт переходит из пластичного состояния в текучее.

Разница между верхним и нижним пределами пластичности получила название *числа пластичности*, I_p %:

$$I_p = w_L - w_p.$$

По числу пластичности I_p выделяют глинистые грунты трех типов:

1) высокопластичные (глины) – 17 *%;* 2) пластичные (суглинки) – 17...7 %;

Репозиторий БНТУ

3) слабопластичные (супеси) – 7 %.

Консистенция 1_L или ***показатель текучести*** — это характеристика состояния грунта ненарушенной структуры.

$$I_L = (w_L - w_p) / I_p.$$

Количественные характеристики гранулометрического состава. При характеристике гранулометрического состава используют такие показатели, как ***эффективные диаметры d_{60} и d_{10}***, т. е. диаметры частиц, меньше которых в грунте содержится по массе соответственно 60 или 10 % частиц. Эффективные диаметры применяют для оценки *степени неоднородности* гранулометрического состава грунта

$$C_n = d_{60} / d_{10}$$ или степени сортированности $$S_n = d_{90} / d_{10}.$$

Приведенные характеристики применяют обычно для песчаных, гравийногалечных и пылеватых грунтов.

Некоторые свойства глинистых грунтов и их характеристики. При оценке свойств глинистых грунтов рассмотрим следующие важные их характеристики.

Набуханием называют способность глинистых (или заглинизированных песчаных) грунтов при насыщении водой увеличивать свой объем. Это сопровождается развитием в грунте давления набухания. Набухание зависит от содержания в грунте глинистых и пылеватых частиц и их минералогического состава, а также от химического состава взаимодействующей с грунтом воды. Бентонитовая глина может увеличить свой объем более чем на 80 %, каолинитовая – на 25 %.

Коэффициент набухания (***K***, %) определяют по данным лабораторных исследований по приросту объема грунта в процессе насыщения его водой:

$$K = (V - V_1)\ 100\% / V_1,$$

где V – объем набухшего грунта, см^3; V_1 – объем воздушно-сухого грунта, см^3.

Способность грунтов к набуханию характеризуется:

• степенью деформации набухания ***K***, %, определяемой по изменению объема или высоты образца;

• давлением набухания ***p***, МПа, которое развивается при невоз-

Репозиторий БНТУ

можности объемных деформаций в процессе набухания грунта;

• влажностью набухания ***W***, соответствующей такому состоянию грунта, при котором прекращается процесс поглощения жидкости (воды) грунтом.

При строительных работах явление набухания дисперсных грунтов наблюдается в котлованах, траншеях и других выемках, а также при возведении плотин, дамб, транспортных насыпей и водохранилищ за счет изменения гидрогеологических условий и увеличения влажности грунтов, особенно глинистых, от вновь поступающей воды.

Усадкой грунта называют уменьшение его объема при высыхании: чем больше влажность, тем больше усадка. В наибольшей степени набуханию и усадке подвержены глинистые грунты и содержащие органические вещества (гумус).

Размоканием называют способность глинистых грунтов в стоячей воде терять связность и разрушаться — превращаться в рыхлую массу с частичной или полной потерей несущей способности. Размокание грунта имеет большое значение для характеристики его строительных качеств. Скорость размокания грунта определяет степень его устойчивости под водой, оценивают при этом вид грунта после распада (пылевидный, пластичный, комковатый) и отмечают размер распавшихся частиц. Глинистые грунты размокают в несколько раз медленнее, чем песчаные. Наличие в грунте гумуса и карбонатов замедляет размокание. Большая часть пород с кристаллизационной структурой является практически неразмокаемой. Большинство же дисперсных грунтов с другими видами связи относятся к категории размокаемых.

Плотные суглинки, а особенно древние глины, не размокающие в стоячей воде, разрушаются при длительном воздействии текучей воды, т. е. размываются.

Размываемость грунтов со слабыми структурными связями обусловливается сопротивлением их размоканию.

Деформационные и прочностные свойства грунтов и их характеристики. ***Сжимаемость*** грунтов характеризует их способность деформироваться под влиянием внешней нагрузки от возведенных сооружений, не подвергаясь разрушению. Деформационные свойства грунтов характеризуются модулем общей деформации, коэффициентом Пуассона, коэффициентами сжимаемости и консолидации, модулями сдвига и объемного сжатия. Сжимаемость дис-

Репозиторий БНТУ

персных грунтов под нагрузкой обусловлена смещением минеральных частиц относительно друг друга и соответственно уменьшением объема пор вследствие деформации частиц грунта, воды и газа.

При определении сжимаемости грунтов различают показатели, характеризующие зависимость конечной деформации от нагрузки и изменение деформации грунта во времени при постоянной нагрузке. К первой группе характеристик относятся: *коэффициент уплотнения* ***а****, коэффициент компрессии* $\boldsymbol{a_ц}$*, модуль осадки* $\boldsymbol{в_р}$, ко второй – *коэффициент консолидации* и др.

Сжимаемость грунтов характеризуется *модулем общей деформации* ***Е***.

При нагрузке на грунт возникают деформации, протекающие во времени. Даже для не полностью водонасыщенных глинистых грунтов сжатие под нагрузкой происходит не мгновенно, но в песках осуществляется сразу после приложения нагрузки.

Деформация сжатия грунтов при обычных в строительстве нагрузках обусловлена упругим сжатием частиц и газа. У водонасыщенных глин, особенно с нарушенными структурными связями, сжатие осуществляется при оттоке воды из пор грунта, скорость которого зависит от его водопроницаемости. Для правильного суждения о скорости осадки сооружений используют данные о консолидации дисперсных грунтов, т.е. их уплотнения во времени под постоянной нагрузкой.

К факторам, определяющим сжимаемость грунтов, относят их гранулометрический и минералогический составы, структуру и текстуру, дисперсность и степень неоднородности грунтов, их пористость. Определенное значение здесь имеет и фильтрационная способность различных по крупности грунтов.

К числу факторов, определяющих способность грунтов деформироваться, относятся размер и форма их частиц и пор.

Прочность грунтов. К числу наиболее важных физико-механических свойств грунтов относят их прочность, т.е. ***сопротивляемость сдвигу***, которое в определенном диапазоне давлений (от десятых долей до целых единиц МПа**)** может быть описано линейной зависимостью Кулона

$$\tau = p\, tg\varphi + c,$$

где τ – предельное сдвигающее напряжение, МПа; p – нормальное

Репозиторий БНТУ

давление, МПа; $tg\ \varphi$ – коэффициент внутреннего трения; φ – угол внутреннего трения, град; c – сцепление, МПа.

Величины φ и c являются параметрами зависимости сопротивления грунтов сдвигу, которые необходимы для инженерных расчетов прочности и устойчивости.

Несколько упрощая вопросы формирования прочности в грунтах различного состава и строения, можно условно принять, что по зависимости Кулона в глинах коэффициент внутреннего трения φ стремится к нулю, а в песках – сцепление c стремится к нулю.

Прочность скальных грунтов определяется преимущественно их структурными связями, т.е. сцеплением, но в наибольшей мере трещиноватостью.

Временное сопротивление скального грунта одноосному сжатию (предел прочности на сжатие) является важной классификационной характеристикой, по которой проводится отнесение грунта к скальному (> 5 МПа) или нескальному (< 5 МПа).

4.7. Методы определения свойств грунтов

Химико-минеральный состав, структуры и текстуры грунтов, содержание органического вещества определяют в геологических лабораториях, оснащенных необходимой аппаратурой (рентгеноэлектронный микроскоп и т. д.). Физико-механические свойства грунтов изучают в грунтоведческих лабораториях и в полевых условиях, т. е. непосредственно на будущих строительных площадках. Особое внимание при этом обращается на достоверность получаемых результатов [14].

По каждой физико-механической характеристике грунтов выполняется несколько определений и проводится их статистический анализ. Для любого инженерно-геологического элемента минимальное количество определений должно быть не менее трех.

Грунтоведческая лаборатория. Образцы грунтов для лабораторных исследований отбираются по слоям грунтов в шурфах и в буровых скважинах на объектах.

В лабораторию образцы грунтов доставляют в виде монолитов или рыхлых проб. Монолиты — это образцы грунтов с ненарушенной структурой. Для определения сжимаемости грунта отбираемые пробы должны иметь размеры 20 х 20 х 20 см. В монолитах пылева-

Репозиторий БНТУ

то-глинистых грунтов нужно сохранять природную влажность за счет создания на их поверхности водонепроницаемой парафиновой или восковой оболочки. В рыхлых грунтах (песок, гравий и т. д.) образцы отбираются массой не менее 0,5 кг.

В лабораторных условиях можно определять все физико-механические свойства грунтов. Каждая характеристика определяется согласно своему ГОСТ: природная влажность и плотность грунта – ГОСТ 5180-84, предел прочности – ГОСТ 17245-79, гранулометрический (зерновой) состав – ГОСТ 12536-79 и т. д.

Лабораторные исследования являются основным видом определения физико-механических свойств грунтов, таких как влажность, плотность частиц грунта и некоторые другие.

Полевые работы. Исследование грунтов в полевых условиях, т.е. на строительной площадке, дает преимущество перед лабораторным анализом, поскольку позволяет определять все значения физико-механических характеристик в условиях естественного залегания грунтов без разрушения их структуры и текстуры, с сохранением режима влажности. При полевых исследованиях моделируется работа массивов грунтов в основаниях зданий и сооружений. Такие исследования грунтов в последние годы используют все больше. При этом совершенствуется техническая оснащенность, применяются ЭВМ. Некоторые полевые методы относятся к экспресс-методам, что позволяет быстрее получать свойства грунтов.

Всё же полевые методы не всегда позволяют прогнозировать поведение массивов грунтов на период эксплуатации зданий и сооружений. Поэтому целесообразно разумно сочетать лабораторные и полевые исследования.

Среди методов деформационных испытаний грунтов на сжимаемость следует считать эталонным метод ***полевых штамповых испытаний*** (ГОСТ 20278-85). Результаты других методов испытаний, как полевых (прессиометрия, динамическое и статическое лидирование), так и лабораторных (компрессионные и стабилометрические) обязательно должны сопоставляться с результатами штамповых испытаний.

При определении прочностных характеристик грунтов наиболее достоверные результаты дают полевые испытания на срез целиков грунта непосредственно на строительной площадке (ГОСТ 23741-79). Из-за высокой стоимости и трудоемкости эти работы проводят только

Репозиторий БНТУ

для сооружений I уровня (класса) ответственности. К ним относятся здания и сооружения, имеющие большое хозяйственное значение, социальные объекты и требующие повышенную надежность (главные корпусы ТЭС. АЭС, телевизионные башни, промышленные трубы высотой более 200 м, здания театров, цирков, рынков, учебных заведений и т, д.). Для других случаев строительства (II и III класс сооружений) достаточно надежные показатели ***c*** и ***φ*** получают в результате лабораторных испытаний грунтов в приборах плоского среза (ГОСТ 12248-78) и трехосного сжатия (ГОСТ 26518-85).

Прочностные характеристики можно также определять по методу лопастного зондирования, результаты которого при проектировании ответственных сооружений сопоставляют со сдвиговыми испытаниями для обеспечения достоверности результатов.

Деформационные испытания грунтов. Сжимаемость грунтов изучают методами штампов, прессиометрами, динамическим и статически зондированием.

Метод ш т а м п о в. *В* нескальных грунтах на дне шурфов или в забое буровых скважин устанавливают штампы, на которые передаются статические нагрузки (ГОСТ 20276-85). ***Штамп в шурфе*** – это стальная или железобетонная круглая плита площадью 5000 см^2. Для создания под штампом заданного давления применяют домкраты или платформы с грузом (рис. 49).

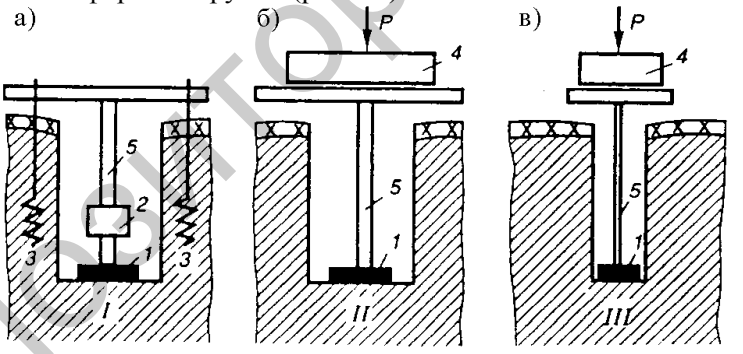

Рис. 49. Определение сжимаемости грунтов штампами:
а, б – шурфы; в – буровая скважина; 1 – штампы; 2 – домкрат;
3 – анкерные сваи; 4 – платформа с грузом; 5 - штанга

Осадку штампов измеряют прогибомерами. В шурфе на отметке подошвы штампа и вне его отбирают образцы грунтов для парал-

Репозиторий БНТУ

лельных лабораторных исследований. Штамп загружают ступенями в зависимости от вида грунта и его состояния, выдерживая до стабилизации деформаций. В итоге испытания строят графики зависимостей осадки штампа от давления и от времени по ступеням нагрузки. После этого по формуле вычисляют модуль деформации грунта ***E***, МПа.

Штамп в буровой скважине. Испытание грунтов проводят в скважине диаметром более 320 мм глубиной до 20 м. На забой скважины опускают штамп площадью 600 см^2. Нагрузка на штамп передается через штангу, на которой располагается платформа с грузом. Модуль деформации также определяют по формуле.

Прессиометрические исследования проводят в глинистых грунтах. Прессиометр представляет собой резиновую цилиндрическую камеру, опускаемую в скважину на заданную глубину и расширяемую давлением жидкости или газа. При создаваемых давлениях замеряют радиальные перемещения стенок скважины, что позволяет определять модуль деформации и прочностные характеристики грунта.

Зондирование (или ***пенетрация***) используется для изучения толщ грунтов до глубины 15 – 20 м. По сопротивлению проникновения в грунт металлического наконечника (зонда) определяют плотность и прочность грунтов на определенной глубине и их изменчивость в вертикальном разрезе.

Зондирование относится к экспресс-методам определения механических свойств песчаных, глинистых и органогенных грунтов, которые не содержат или имеют мало примесей щебня или гальки. По способу погружения наконечника различают зондирование динамическое и статическое [15, 16]. При статическом зондировании конус в грунт задавливается плавно, а при динамическом его забивают молотом.

Статическое и динамическое зондирования позволяют:

- расчленить толщу грунта на отдельные слои;
- определить глубину залегания скальных и крупнообломочных грунтов;
- установить приблизительно плотность песков, консистенцию глинистых грунтов, определить модуль деформации;
- оценить качество искусственно уплотненных грунтов в насыпях и намывных образованиях;
- измерить мощность органогенных грунтов на болотах.

На рис. 50 показана пенетрационно-каротажная станция.

Репозиторий БНТУ

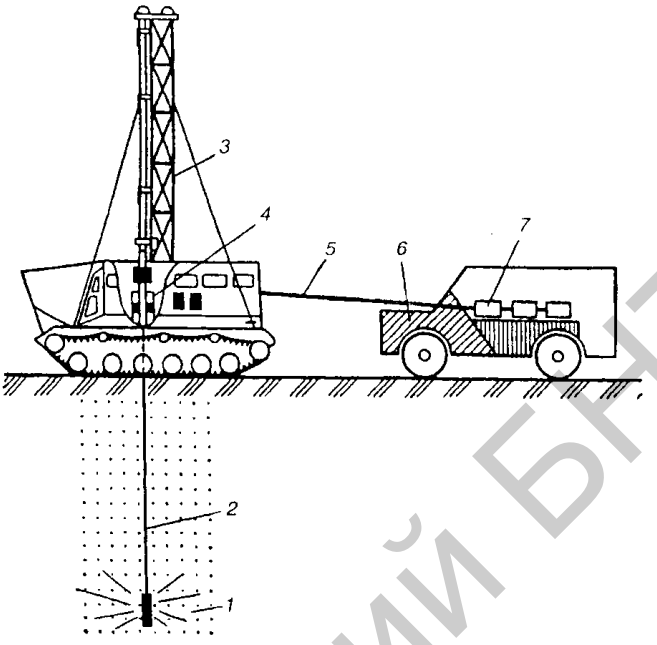

Рис. 50. Пенетрационно-каротажная станция:
1 – зонд-датчик; 2 – штанга; 3 – мачта; 4 – гидроцилиндр; 5 – канал связи;
6 – аппаратная станция; 7 – пульт управления

Прочностные испытания грунтов. Сопротивление грунтов сдвигу определяется предельными значениями напряжений, при которых начинается их разрушение. Опыты проводят в строительных котлованах, оставляя столбчатые целики ненарушенного грунта, к которым прикладывают вертикальные сжимающие и горизонтальные сдвигающие усилия. При этом для правильного определения внутреннего трения и удельного сцепления опыт проводят не менее чем на трех целиках при различных сжимающих усилиях. В нескальных грунтах сдвиг производят также с помощью вращательных срезов при вращении крыльчатки, которая представляет собой четырехлопастной прибор. Его вдавливают в грунт и поворачивают, измеряя при этом крутящий момент, по которому рассчитывают сопротивление сдвигу.

Опытные строительные работы. При строительстве объектов I уровня ответственности (класса) полевые исследования грунтов приобретают особо важное значение, поэтому прибегают к опыт-

Репозиторий БНТУ

ным работам.

Опытные сваи. На строительной площадке погружают инвентарную сваю и наблюдают за характером ее погружения и сопротивляемостью грунта. Прикладывая к свае нагрузки и измеряя осадки при каждой ступени определяют несущую способность грунта в условиях природной влажности и при замачивании [12]. Результаты испытаний сравнивают с расчетными данными на базе лабораторных исследований грунта.

Опытные фундаменты. Устраивают фундаменты будущего здания в натуральную величину и на проектную глубину. На фундамент прикладывают нагрузку как от будущего здания и ведут наблюдения за сжатием грунта основания. Так определяют реальную несущую способность грунта и осадку будущего здания.

Опытные здания. Количественную оценку просадочных свойств лессов дают по данным лабораторных и полевых испытаний грунтов. В реальных условиях под возведенными зданиями в натуральную величину лессовое основание насыщают водой и проводят наблюдения за характером развития процесса, определяют значения просадок и оценивают состояние конструкций здания. Аналогичные опытные работы выполняют и при оценке динамических воздействий на конструкции зданий и основания.

Обработка результатов исследований грунтов. Оценку свойств массивов грунтов проводят на основе физико-механических характеристик в результате лабораторных исследований отдельных образцов грунтов и полевых работ на территории массива. Полученные в лаборатории и в поле характеристики отвечают только тем местам, где были отобраны образцы и проведены полевые испытания грунтов. В связи с этим разрозненные результаты исследований и нормативные показатели необходимо обобщить, т. е. статистически обработать с целью получения усредненных значений и последующего использования в расчетах оснований.

Стационарные наблюдения при инженерно-геологических и гидрогеологических исследованиях проводят для оценки развития неблагоприятных геологических процессов (карста, оползней и др.), режима подземных вод и температурного режима На выбранных характерных участках для наблюдений устанавливают сеть реперов и ведут инструментальные наблюдения за их перемещением и т. д. Измерения выполняют в период эксплуатации зданий и сооруже-

Репозиторий БНТУ

ний, но они могут быть начаты и в период их проектирования. Продолжительность работ – до 1 года и более.

4.8. Характеристика классов грунтов

Природные скальные грунты. Для объектов Беларуси не характерны.

Природные дисперсные грунты. В этот класс входят:

• несвязные грунты в виде крупнообломочных образований и песков;

• связные грунты (с водноколлоидными связями) в виде минеральных (глинистых), органо-минеральных и органических образований.

Гранулометрический состав крупнообломочных и песчаных грунтов определяется с помощью набора стандартных сит, имеющих различные отверстия. После рассева фракции взвешиваются и устанавливается их процентное соотношение. Гранулометрический анализ глинистых грунтов проводят с помощью специальных и достаточно сложных методов. Это позволяет установить литологические типы глинистых грунтов (супеси, суглинки, глины).

Фазовый состав. Дисперсные грунты, включая мерзлые и техногенные, состоят из твердой части (обломки пород и частицы), газообразной (воздух атмосферы), жидкой (вода) и органической массы. Твердая часть является скелетом грунта. В его порах, т. е. в промежутках между частицами размещаются воздух, вода и органическое вещество. В органических грунтах органический материал представляет собой «скелетную» часть грунта, где размещаются вода и отчасти воздух.

Свойства дисперсных грунтов, особенно песчаных и глинистых, в значительной мере зависят от фазового состава и количественных взаимоотношений фаз. Сухой песок имеет две фазы – твердую и газообразную, мокрый песок – три фазы (твердая, воздух, вода), почвы – четыре фазы (твердая, воздух, вода, гумус). Глинистый грунт обычно состоит из трех фаз. В слабовлажной глине мало воды, а в глине текучего состояния её очень много. Фазовый состава важен при выборе методов улучшения свойств грунтов.

Свойства несвязных грунтов. ***Крупнообломочные грунты*** имеют обломки более 2 мм (дресва, гравий, галечник). Они несцементи-

Репозиторий БНТУ

рованы и аналогичны во взаимодействии друг с другом песчаным грунтам, т. е. в них отсутствуют связи, характерные для глинистых грунтов и грунтов с жесткими кристаллизационными связями.

Прочность и водостойкость крупнообломочных грунтов зависит от генезиса и петрографического состава обломков. На деформационных показателях сильно сказывается степень выветрелости обломков. В сильно выветрелых грунтах модуль деформации невелик. В невыветрелых грунтах влажность на деформационные характеристики практически не влияет, но в сильновыветрелых она существенно понижает модули деформации. При росте коэффициента выветрелости от 0,45 до 0,75 угол внутреннего трения снижается с 28 до 22°, а сцепление от 0,035 до 0,027 МПа.

Крупнообломочные грунты являются хорошим основанием для зданий и сооружений, при плотном сложении под нагрузкой не уплотняются, но при большом содержании глинистого материала увеличивается сжимаемость. При динамических воздействиях и землетрясениях водонасыщенные крупнообломочные грунты могут разжижаться и терять устойчивость, что сказывается на устойчивости объектов.

Крупнообломочный элювий обычно состоит из угловатых остроугольных глыб, форма и размер которых в основном зависят от структурно-текстурных особенностей пород. В верхних частях разреза осыпи он имеет рыхлое сложение при отсутствии какого-либо заполнителя, поэтому водопроницаемость осыпи чрезвычайно высока.

Крупнообломочные *отложения временных водных потоков* в процессе перемещения при перекатывании и соударениях приобретает различную степень обработанности и сортировки. Одной из разновидностей пролювия являются селевые отложения грязекаменных потоков, содержащие крупный валунник, галечник и гравий с песчаным, пылеватым и глинистым материалом между обломками. При наличии беспорядочной или грубой косослоистой текстуры с неправильным чередованием линз и прослоев разных состава и свойств общая пористость крупнообломочных грунтов может быть очень низкой (15 – 21%), чему также способствует просыхание с образованием прочных цементационных связей между обломками. Пролювиальные и особенно селевые отложения в условиях жаркого климата могут содержать водорастворимые соли.

Аллювиальные крупнообломочные грунты равнинных рек пред-

Репозиторий БНТУ

ставлены окатанными обломками прочных пород, имеют достаточно плотное сложение, высокую водопроницаемость и являются практически несжимаемыми при нагрузках строительной практики.

Морские крупнообломочные отложения имеют хорошую отсортированность галечников и практически лишены какого-либо заполнителя, что определяет их высокую водопроницаемость, малую сжимаемость и пониженное сопротивление сдвигу.

Морские грубообломочные отложения на значительных глубинах (до 600 – 800 м) и на большом удалении от берега плохо отсортированы, содержат много мелкозернистого материала, что существенно снижает водопроницаемость всей толщи грунта.

Озерные крупнообломочные грунты по своим текстурно-структурным особенностям и свойствам близки к морским галечникам, формирующимся в зоне прибоя.

Крупнообломочные грунты ледниковые (флювиогляциальные отложения) **о**бычно залегают в виде прослоев, линз или рассеяны в виде включений в моренных толщах и флювиогляциальных песках. Эти грунты характеризуются значительной водопроницаемостью, слабой сжимаемостью и довольно большой прочностью

Песчаные грунты сложены угловатыми и окатанными обломками размером от 2 до 0,05 мм. Основная масса песков состоит из кварца и полевых шпатов с примесями силикатов и глинистых минералов. Морские пески занимают большие площади с многометровой мощностью, хорошо отсортированы по крупности. Речные пески (аллювиальные) всегда локальны по площади распространения, маломощны, полиминеральны, не отсортированы, нередко с примесью глинистых частиц и гумуса. Пески по крупности частиц разделяют на гравелистые, крупно-, средне- и мелкозернистые, пылеватые (табл. 6). Пористость рыхлых песков около 47 %, а плотных – до 37%. Рыхлое сложение легко переходит в плотное при водонасыщении, вибрации и динамических воздействиях. Плотность песков оценивают по значению ***e***: плотное сложение *(**e*** < 0,60), средней плотности и рыхлое (**e** > 0,75).

Таблица 6

Разновидности песчаных грунтов [9, 11]

Репозиторий БНТУ

Пески	Крупность частиц, мм	% от массы воздушно-сухого грунта
Гравелистые	> 2	> 25
Крупные	> 0,5	> 50
Средние	> 0,25	> 50
Мелкие	> 0,1	75 и более
Пылеватые	> 0,1	75 и более

Пески всегда водопроницаемы. В пылеватых песках κ_ϕ не превышает 1 м/сут, в крупнозернистых – до 40 – 30 м/сут, а в гравелистых – 80 – 100 м/сут. В плотном сложении пески хорошо воспринимают нагрузки и рассеивают напряжения в основаниях под фундаментами. Модуль деформации песков колеблется от 11 до 50 МПа и закономерно снижается от крупных к пылеватым.

Пески в строительстве широко применяются и являются надежным основанием, служат хорошим материалом для изготовления различных строительных изделий, цементных растворов и т. д. Однако наличие примесей слюды, солей, гипса, глинистых минералов и гумуса в ряде случаев ограничивает использование песков.

Проходка строительных котлованов в песках сопряжена с известными трудностями. В рыхлых сухих песках приходится делать очень пологие откосы, что ведет к большим объемам земляных работ, или их крепить.

Состав, строение и свойства песков определяются их генезисом. Разные генетические типы песков имеют различное распространение [2]: в Европейской части СНГ: 51% площади занимают аллювиальные пески, 24% – водноледниковые; 11,3% – эоловые, 3,6% – элювиальные, 5 – 6% – морские, 1,6 – озерные, 1,5% – остальные.

Элювиальные пески неоднородны по гранулометрическому составу, имеют необработанные угловатые зерна, рыхлое сложение (сильную уплотняемость).

Аллювиальные пески очень широко развиты на равнинных территориях современных речных долин и вне их, различны по гранулометрическому составу и свойствам.

Русловые пески основного потока реки наименее дисперсные по сравнению с другими типами аллювиальных песков. Эти пески характеризуются слоистым сложением с разнообразием форм косой и диагональной слоистости. Они сложены главным образом частица-

Репозиторий БНТУ

ми окатанной и слабоокатанной формы. Невысокая дисперсность, достаточно хорошая отсортированность и окатанность, преобладающее среднее и рыхлое сложение песков обусловливают значительную их водопроницаемость, причем в горизонтальном направлении она обычно выше, чем в вертикальном.

Пойменные и старинные пески залегают в виде маломощных прослоев и линз в толще супесей и суглинков (отложения ленточные, линзовидно-слоистые супеси и суглинки и др). Эти отложения представлены преимущественно мелкими и пылеватыми песками, горизонтально- или линзовиднослоистыми, содержащими примесь глинистого, а иногда и органического материала, имеют значительно меньшую водопроницаемость, сжимаемость и прочность по сравнению с русловыми отложениями.

Дельтовые пески основном средние и мелкие, достаточно хорошо отсортированы с окатанной формой зерен, в ряде случаев обогащены пылеватым и глинистым материалом. Эти пески имеют чередование горизонтальных слоев с покрывающими их косыми сериями, причем горизонтальные слои срезают косые серии несогласно (уклон косых слоев до 45°). Очень часто они имеют рыхлое сложение и сильно уплотняются при динамическом воздействии, но при этом склонны к разжижению, что следует иметь в виду при проектировании оснований на динамические вибрационные нагрузки.

Флювиогляциальные пески ледникового комплекса называются водноледниковыми и имеют очень широкое распространение в Беларуси. Они представлены крупными, средними, мелкими и пылеватыми разностями с грубообломочным материалом. Встречается некоторое количество глинистых частиц. Для этих песков характерна косая слоистость. Они лишены растворимых солей и содержат очень мало органических веществ, имеют преимущественно среднюю плотность сложения, но во многих районах даже рыхлое. Доминируют слабоокатанные зерна. Плотность частиц 2,64 – 2,68 г/см^3. Пористость песков этого типа такова: в гравелистых разностях – 40 – 41%., мелких – 40 – 46 %, пылеватых – 42 – 51 %. Для этих песков коэффициент фильтрации не превышает 10 м/сут, с ростом же дисперсности он падает до 1,5 м/сут. Угол естественного откоса в воздушно-сухом состоянии – от 30 до 40^o, под водой – 24 – 33^o.

Ледниковые (*моренные*) *пески* залегают в виде прослоев и линз в толще моренных валунных суглинков и глин. Гранулометрический

Репозиторий БНТУ

состав разнообразен, но преобладают плохо отсортированные гравелистые и крупнозернистые разности. В них всегда присутствует валунный материал, иногда в значительных количествах. Для этого типа песков свойственна большая изменчивость состава и свойств как в разрезе, так и по простиранию. Ледниковые пески, заключенные и толще моренных глинистых грунтов, часто содержат напорные воды. Линзы таких водонасыщенных песков при вскрытии котлованов или других строительных выемок и выработок часто способствуют сползанию и оплыванию откосов, а иногда и прорыву напорных подземных вод в котлованы и подземные выработки. Вместе с водой в этих случаях вымоется много песка, что значительно снижает устойчивость вышележащего грунтового массива.

Морские пески отличаются высокой однородностью и очень хорошей окатанностью (за редким исключением) и достаточно сильной водопроницаемостью (коэффициент фильтрации значительно больше 1 м/сут). Мелководные пески, особенно в зоне прибоя, имеют плотное сложение. Глубинные пески преимущественно рыхлые (но есть и исключения) и склонны давать быструю осадку при динамических нагрузках и вибрации.

Эоловые пески наиболее широко распространены в полупустынях и пустынях, обычно представлены отсортированными мелкими или пылеватыми разностями с хорошей окатанностью частиц. В целом строение толщ эоловых песков характеризуется неправильностью и разнообразием углов наклона слоев, в целом очень рыхлым недоуплотненным сложением, сильной водопроницаемостью.

Свойства связных грунтов. К связным грунтам относятся супеси, суглинки и глины. Такие грунты имеют значительную долю в Беларуси.

Глинистые грунты характеризуются большой группой физических свойств: пористостью, влажностью; поглотительной способностью; коррозионными и специфическими свойствами (пластичностью, консистенцией, липкостью, набуханием и усадкой). Они обычно залегают самостоятельными слоями, иногда в виде прослоев или линз в толщах других грунтов, что типично в основном озерным и речным отложениям. Мощность слоев очень разнообразна – от сантиметров до десятков и сотен метров.

Пористость ***n*** глинистых грунтов в зависимости от генезиса изменяется в широком диапазоне от 10% до 95 %. В супесях и суг-

Репозиторий БНТУ

линках поры имеют открытый характер и практически соединяются друг с другом, что позволяет достаточно свободно проникать в грунт воздуху и воде. В глинах поры изолированы друг от друга, могут содержать «защемленные» воздух и воду. Это придает глинам характер «водоупоров».

В порах глинистых грунтов кроме воздуха и воды иногда содержится органический перегной «гумус». Больше всего (до 5 – 15 % от массы грунта) его бывает в супесях и суглинках, поэтому их называют «почвами». Гумус очень гидрофилен и существенно повышает активность глинистых грунтов во взаимоотношениях с водой, увеличивая влагоемкость, пластичность, сжимаемость и т. д.

Влажные глинистые грунты под нагрузками сильно сжимаются за счет уменьшения пористости. Вначале из пор вытесняется воздух, а потом свободная (жидкая) вода. Грунт при этом ведет себя как пластичное тело. Дальнейшее увеличение нагрузки принимает на себя минеральный скелет грунта. Если структура грунта не была разрушена, то после снятия нагрузки объем грунта может несколько увеличиться, что связано с расклинивающим действием пленочной воды на частицы грунта.

Вода в глинистых грунтах заполняет поры полностью или частично и всегда сильно влияет на свойства грунтов, в частности, на поведение их под нагрузками. В природных условиях глинистые грунты практически всегда содержат воду, количество и виды воды бывают различными.

Поглотительная способность глинистых грунтов связана с активной поверхностью глинистых частиц, причем в наивысшей мере тех, которые несут на своей поверхности электрические заряды. Минералы алюмосиликатного или силикатного состава имеют отрицательные заряды.

Коррозионные свойства глинистых грунтов выражаются в разрушении строительных материалов и подземных металлических трубопроводов. Коррозия возникает в результате *электролиза,* который начинается в грунтах после воздействия *блуждающих электрических токов* на поровый водно-солевой раствор. В этом процессе вода пор становится электролитом. Коррозионные разрушения наиболее типичны городским территориям с трамвайным движением. При проектировании объектов следует предусматривать меры защиты от коррозии.

Репозиторий БНТУ

Специфические свойства глинистых грунтов. Вода и ее количество придает глинистым грунтам ряд особых (*специфических или «характерных»*) свойств: *пластичность, липкость, набухание и усадка.*

Пластичность. Это способность глинистых грунтов под действием внешнего давления изменять свою форму без разрыва сплошности, т. е. без образования трещин, и сохранять полученную форму. Пластичные свойства обуславливаются наличием пленочной воды и проявляются только между двумя определенными значениями влажности: *границей раскатывания* w_p и *границей текучести* w_L. Грунт при влажности ниже w_p находится в твердом состоянии, а выше w_L – растекается. Разница между значениями w_p и w_L называют *числом пластичности* I_p.

Консистенция тесно связана с пластичностью, отражает физическое состояние грунтов и показывает степень подвижности частиц в зависимости от различного количества в грунтах воды. По значениям показателя текучести J_L с помощью таблиц устанавливают в каком состоянии находится грунт. Суглинки и глины могут иметь консистенцию твердую, полутвердую, тугопластичную, мягкопластичную, текучепластичную, текучую. Супеси бывают твердые, пластичные и текучие.

Липкость (г/см^2) – способность пластичных глинистых грунтов прилипать к поверхности предметов (колесам и тракам дорожных машин, к лопате и т.д.), что обусловлено наличием пленочной воды, а в почвах также гидрофильного гумуса. В период дождей она осложняет разработку котлованов и процесс уплотнения грунтов.

Набухание – способность глинистых грунтов увеличивать свой объем в результате увлажнения. Набухающие грунты обычно залегают слоями и чаще всего встречаются на поверхности земли сухих районов. Мощность слоев набухающих глин обозначается H_{sw}. Схема процесса набухания грунтов показана на рис. 51. За счет давления набухания грунтов здание деформируется.

Репозиторий БНТУ

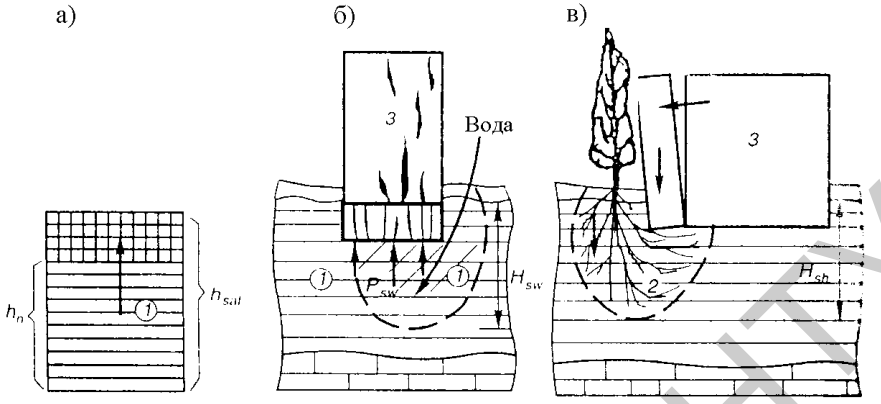

Рис. 51. Схема набухания грунта (а), давление набухания (P_{sw}) на фундамент (б)и деформации здания от усадки грунта (в): 1 – набухающие грунты; 2 – зона усадки грунта; 3 – здания

Набухание сухих или слабо влажных грунтов происходит после соприкосновения с водой. Вода проникает в грунт по капиллярам, пленки воды утолщаются, частицы грунта раздвигаются и объем грунта возрастает, В увеличении объема грунта играет роль минерал монтмориллонит, который поглощает воду и «разбухает» во много раз. Способность грунтов к набуханию определяют в лаборатории, устанавливают величину *относительного набухания* $\boldsymbol{E_{sw} = (h_{нс} - h)/h}$, где $\boldsymbol{h}$ – начальная высота образов и $\boldsymbol{h_{нс}}$ – высота после набухания. При $\boldsymbol{E_{sw}}$ = 0,04 грунт считают набухающим; при значении 0,04 – 0,08 – слабонабухающим; 0,09 – 0,12 – средненабухающим и свыше 0,12 – сильно набухающим.

Одновременно определяется *влажность набухания* ($\boldsymbol{w_{sw}}$) и *давление набухания* ($\boldsymbol{P_{sw}}$), создаваемое грунтом при увеличении своего объема. Давление $\boldsymbol{P_{sw}}$ может достигать 0,8 МПа и легко поднимать и деформировать здание и сооружение.

Наличие набухающих грунтов устанавливают в ходе инженерно-геологических изысканий. При проектировании объектов на набухающих грунтах необходимо предусматривать определенные мероприятия: 1) в надземной части зданий (увеличивать жесткость и прочность зданий) и 2) в грунтовом основании.

При строительстве на набухающих основаниях могут быть использованы [2]:

Репозиторий БНТУ

• Водозащита вокруг зданий и сооружений для предотвращения проникновения в основания атмосферных и технических вод. По периметру зданий устраивают широкие асфальтовые отмостки, канавы и лотки для отвода воды; надземные водонесушие коммуникации помещают в специальные каналы.

• Устранение набухания в пределах всей или части толщи грунта путем предпостроечного замачивания с использованием дренирующих скважин. Однако при этом в грунтах понижаются прочностные и деформативные характеристики.

• Устройство компенсирующих подушек под всем зданием или фундаментами из слоя уплотненного грунта (песка, суглинка, глины). Это позволяет уменьшать до допустимого предела величину P_{sw}.

• Прорезка фундаментами, лучше всего монолитными жесткими или свайными, слоя набухающего грунта. При этом боковая часть фундаментов должна обсыпаться песком в целях устранения прилипания к ним грунта.

• Полная или частичная замена слоя набухающего грунта ненабухающим. Этот способ экономически оправдан при набухающих грунтах с небольшой мощностью слоев.

• Увеличение давления от зданий на основание больше P_{sw}.

Наибольший эффект дает сочетание нескольких этих мероприятий при увеличении жесткости и прочности фундаментов и самих зданий.

Усадка — это уменьшение объема глинистого грунта при высыхании. Собственно, это процесс, обратный набуханию. Высыхание грунтов происходит за счет испарения воды или её отсасывания из грунта корнями деревьев слишком близко к зданию при их проникновении под фундамент. При усадке грунт растрескивается, теряет монолитность, прочность. Поверхность земли опускается, а здания деформируются (см. рис. 51,в).

В лаборатории устанавливают величину относительной усадки $E_{sh} = (h_n - h_d)/h_n$ (где h_n – высота образца грунта с w_{max}, а h_d, – высота после высыхания), определяют влажность грунта на пределе усадки (w_{sh}), мощность подверженных усадке грунтов H_{sh}. Величина E_{sh} бывает в глинах больше чем в суглинках. В супесях усадка не проявляется. Проявление усадки предупреждают теми же мероприятиями, что и набухание грунтов.

Инженерно-геологическая характеристика некоторых гли-

Репозиторий БНТУ

нистых грунтов. *Элювиальные глины, суглинки и супеси* имеют различные свойства исходя из количества и вида глинистых минералов в их составе. Особенно ярко это проявляется в таком их свойстве как пластичность. Пластичность элювиальных глинистых пород обусловлена наличием и количеством песчаной, пылеватой и грубообломочной фракций.

Делювиальные суглинки, глины и в меньших объемах супеси покрывают более или менее мощным покровом склоны различных положительных и откосы отрицательных форм рельефа. Довольно часто такие глинистые грунты содержат щебень и более крупные обломки, имеют различные растительные остатки. Нередко присутствует гипс в виде мелких игольчатых кристаллов или присыпки (порошка).

Физико-механические свойства глинистого делювия сильно изменяются в зависимости от его состава. Такие грунты быстро размокают в воде, особенно если их естественная влажность мала. Водопроницаемость весьма слаба в силу «глинистости».

Делювиальные глинистые грунты склонны к движению вниз по откосам за счет проявляющейся слоистой текстуры. Искусственная подрезка делювиальной толщи при проходке котлована под здание, дорожной выемки и т. п. особенно в нижней части склона, как правило, вызывает во всей ее массе подвижки оползневого характера, при этом поверхность сдвига может образоваться как внутри делювиальной толщи, так и на контакте ее с подстилающей коренной породой. Примером служат крупные оползни на Южном берегу Крыма, в частности, на территории санатория «Белоруссия» в Гурзуфе .

Пролювиальные глинистые образования чаше всего представлены пылеватыми суглинками с характерной плохой сортировкой материала и наличием включений обломков пород различной величины. Глинистый пролювий имеет большую неоднородность всей пролювиальной толщи с точки зрения деформационных, прочностных и водно-фильтрационных характеристик.

Аллювиальные глинистые образования развиты очень широко, особенно в долинах равнинных рек. Они сильно разнообразны по составу и свойствам.

Русловые супеси и суглинки нередко содержат органические остатки.

Пойменные отложения представлены горизонтально-, волнисто-, линзовидно-слоистыми суглинками и глинами, редко супесями.

Репозиторий БНТУ

Суглинки и глины плохо дренируемых участков пойм обычно оглеены и обогащены органическими веществами. Молодые пойменные глины, суглинки, супеси обычно очень рыхлые, влажные и слабосвязные. Высыхание их сопровождается усадкой. Очень часто в разрезах пойменного глинистого аллювия наблюдаются погребенные почвы и темноцветные горизонты, обогащенные органическим веществом, что ухудшает его свойства.

Наихудшими по своим инженерно-геологическим характеристикам оказываются *старичные глинистые грунты*, представленные обычно достаточно высокодисперсными разностями со значительным количеством органики. Они находятся в мягкопластичном состоянии. Среди них (особенно в молодых современных образованиях) очень широко распространены грунты текучей и скрытотекучей консистенции, характеризуемые высокой сжимаемостью и низкими показателями сопротивления сдвигу.

Глинистые и суглинистые грунты пойменной фации аллювия обладают более благоприятными инженерно-геологическими характеристиками. Для них отмечены большие значения сопротивления сдвигу, меньшая сжимаемость, причем отложения высоких пойменных террас еще более благоприятны для строительства. Водопроницаемость пойменных глинистых грунтов также невелика. В разрезах надпойменных террас достаточно широко развиты лёссовидные суглинки, которые в разной степени обладают просадочными свойствами и невысокой водопрочностью.

У *дельтовых* отложений высокая пористость сказывается на их значительной сжимаемости, низкой прочности и длительном времени консолидации. Лёссовидные супеси и суглинки обладают чаще всего типичными просадочными свойствами.

Глинистые грунты ледникового комплекса слагают мощные толщи моренных водно-ледниковых образований и представлены ***супесями, суглинками и глинами, содержащими различное количество дресвы, гравия, гальки и валунов***. Состав этих образований достаточно закономерно изменяется по мере удаления от области питания. В направлении к югу развиты преимущественно суглинистые толщи, количество включений в которых гораздо меньше, чем к северу. На севере Украины морена становится еще более глинистой, количество валунов уменьшается.

Нижние горизонты моренных толщ по своему составу в значи-

Репозиторий БНТУ

тельной степени связаны с составом подстилающих грунтов. Для моренных толщ характерны включения отторженцев – крупных глыб известняков и песчаников и из пластичных мягких глин, которые могут обусловливать большие и, главное, неравномерные осадки зданий. Для моренных образований также характерно наличие внутриморенных линз водонасыщенных песков, увеличивающих неоднородность строения моренных толщ и уменьшающих их устойчивость в стенках откосов и котлованов.

Обличительной чертой глинистых моренных образований является их высокая плотность: обычно в пределах от 1,80 – 1,90 до 2,20 – 2,30 г/см^3. Пористость этих грунтов мала – обычно 25 – 35 % (но чаще 30 % или намного ниже). Столь высокая их уплотненность объясняется очень большим давлением ледника в период формирования моренных толщ, а также большой разнородностью гранулометрического состава моренных грунтов. Высокая плотность обусловила малую сжимаемость. Компрессионные модули сжимаемости в интервале нагрузок 0,1 – 0,3 МПа находятся в пределах от 6 до 10 – 15 и даже 20 МПа. Для нагрузок 0,3 – 0,4 МПа их значения обычно больше 10 МПа. Коэффициент пористости для моренных суглинков лежит в пределах 0,3 – 0,45, а моренных супесей – 0,4 – 0,5. Сопротивление сдвигу моренных грунтов обычно достаточно высокое: суглинки имеют **C** = 0,08 – 0,19 МПа, **φ** = 18 – 42^o, супеси соответственно **C** = 0,08 – 0,001 МПа и **φ** = 12 – 35°. Моренные суглинки и глины, хотя и обладают значительной водопрочностью, все же размокают в воде и размываются водой. Эта их способность иногда является причиной деформаций откосов и дна выемок и котлованов. Моренные глинистые грунты в большинстве случаев считаются надежными основаниями для самых ответственных и тяжелых сооружений, что обусловлено плотным их сложением, очень низкой пористостью и сжимаемостью.

Среди *водноледниковых (флювиогляциальных)* глинистых отложений наиболее типичными являются *ленточные глины.* Их образование происходило в приледниковых озерах, куда вода поступала с различной интенсивностью в течение года. При быстром течении воды и обильном поступлении ее в озера летом откладывались слои с большими содержанием песка (песчанистые), а при замедленном движении воды зимой – глинистые слои. В результате произошло образование своеобразных песчано-глинистых толщ с четко выра-

Репозиторий БНТУ

женной ленточной слоистостью и анизотропией целого ряда свойств. Ленточным глинам свойственны высокие пористость (до 60 – 65 %) и естественная влажность. Их водопроницаемость вдоль напластования значительно выше, чем перпендикулярно ему. Вдоль напластования $\mathbf{К_ф} = 1 \times 10^{-1} – 1 \times 10^{-3}$ м/сут, а в глинистых прослоях снижается примерно на два порядка, т. е. до 1×10^{-5} м/сут. В связи со слабой водопроницаемостью осушение водонасыщенной толщи ленточных глин является чрезвычайно трудной инженерной задачей и не всегда осуществимо. Ленточные глины в естественном состоянии могут без значительных деформаций выдерживать нагрузки до 0,3 – 0,4 МПа, даже если их влажность превышает верхний предел пластичности. Повторное чередование нагрузки и разгрузки придает ленточным глинам упругие свойства. После нарушения сложения грунта путем ее перемятия наблюдается резкое снижение прочностных свойств и деформационных показателей. Сопротивление сдвигу ленточных глин в песчанистых прослоях значительно выше, чем по глинистым прослоям. Для водонасыщенных ленточных глин угол внутреннего трения в интервале давлений 0,1 – 0,2 МПа параллельно слоистости равняется для глинистых слоев 11 – 13°, для пылеватых – 15 – 19°, для песчаных – около 24°. При сдвиге перпендикулярно слоистости этот угол в среднем равен 16°. Сцепление в глинистых слоях составляет 0,02 – 0,03 МПа, в пылеватых – 0,007 – 0,017 МПа. При нарушении естественной структуры сцепление как таковое не фиксируется.

Озерныех глины и суглинки имеют распространены мало. Они обычно тонкослоистые, реже линзовидно-слоистые и имеют много органики плохо разложившейся. При больших пористости, содержании органики и естественной влажности имеют малую прочность, значительную сжимаемость и слабую водопроницаемость.

Эоловые глинистые грунты для Беларуси не характерны.

Морские глинистые грунты очень широко распространены среди отложений глубоких частей моря. По своему составу эти глины весьма однородны. Для Беларуси эти грунты также не характерны.

Свойства органоминеральных грунтов. К таким грунтам относят *илы, сапропели и заторфованные*. Своим происхождением они обязаны водной среде и располагаются в речных долинах, на низких берегах морей, озер, водохранилищ, в пониженных частях рельефа с высокими уровнями грунтовых вод, где развиты болота.

Репозиторий БНТУ

Все органоминеральные грунты высокопористы и насыщены водой. В их составе: 1) песчано-пылевато-глинистые частицы; 2) органические вещества; 3) воды бывает больше, чем минеральной и органической частей. Органические вещества содержатся в следующих количествах: илы, в основном гумус, не менее 10 %; сапропели (гумус с примесью растительных остатков) до 30 %; заторфованные грунты (растительные остатки с примесью гумуса) до 50 %.

У органоминеральных грунтов оцениваются следующие характеристики:

- природная влажность $\boldsymbol{w}$;
- плотность грунта и частиц;
- содержание органических веществ;
- полная влагоемкость $\boldsymbol{w_n}$;
- коэффициент фильтрации $\boldsymbol{K_\phi}$;
- модуль деформации $\boldsymbol{E}$.

Ил — водонасыщенный современный (или древний) осадок дна водоемов в виде песчано-пылевато-глинистых масс с органическим перегноем (гумусом). Его следует считать начальной стадией формирования глинистого грунта. Окраска черная, масса рыхлая, количество воды превышает содержание минеральной части (за исключением древнего ила). Мощность слоев илов составляет от сантиметров до нескольких метров. Модуль деформации колеблется от 0,1 до 2 МПа. Коэффициент пористости для илов супесчаного состава составляет 0,8 – 1,2; суглинистого 0,9 – 1,6 и глинистого 1,2 – 2. Илы практически не держат нагрузки и легко выдавливаются, при динамическом воздействии переходят в разжиженное состояние. Небольшую нагрузку выдерживают лишь древние илы, особенно если они перекрыты толщей глинистых отложений.

Сапропели — это рыхлые водонасыщенные песчано-пылевато-глинистые отложения, содержащие органический материал. Мощность слоев сапропелей от 1 до 20 м. Более или менее уплотненный сапропель называют *сапроколом.*

Заторфованные грунты — это песчано-пылевато-глинистые водонасыщенные грунты с большим содержанием органических веществ (до 50 %*)* в виде остатков корней растений и примесью гумуса. При оценке свойств этих грунтов большое значение имеет *степень разложения* растительных остатков $\mathbf{R_р}$. По этому признаку их разделяют на четыре разновидности $\mathbf{R_р}$: 1) от 0 до 15 %; 2) 16 – 30 %;

Репозиторий БНТУ

3) 31 – 50 %; 4) более 50%.

Почвы повсеместно залегают на дневной поверхности земли и являются элювиальным образованием. Различают *почвы песчаные, супесчаные, суглинистые и глинистые*. Все они содержат органику в виде перегноя (гумуса) в количестве от 3 до 12 % и корни травяной, кустарниковой и древесной растительности. Мощность почв колеблется от 0,3 – 0,5 до 1,5, редко до 3 м. Почвы необходимы сельскому хозяйству и поэтому их следует сохранять. Перед строительством слой почвы необходимо срезать, складировать и использовать по своему назначению в местах, где этот слой отсутствует.

В лёссовых толщах присутствуют слои древних «погребенных» почв с малой мощностью и по своим свойствам с малым отличием от вмещающих их грунтов.

Органические грунты состоят в основном из органического материала. Типичным их представителем является *торф*, сложенный из неполно разложившихся болотных растений с примесью песка, пылеватых и глинистых частиц. Окраска чаще всего темно-коричневая. Растения создают волокнистый каркас, что является его структурой. Большинство торфов сформировалось в древности и между собой различаются по степени разложения и геологическому строению. Возможны различные случаи геологического строения торфяников. Слой торфа мощностью от нескольких сантиметров до десятков метров может плавать на воде, либо лежать на сапропеле или непосредственно на минеральном дне, т. е. на слое глины.

Все органоминеральные и органические грунты содержат воду с агрессивными свойствами к строительным материалам. В связи с непрерывным гниением растительных остатков их свойства очень изменчивы во времени. Модуль деформации $\boldsymbol{E}$ обычно меньше 5 МПа. Лучше всего нагрузки держат древние, более плотные торфы. Строительство зданий и сооружений на таких грунтах представляет собой сложную задачу.

В каждом случае используются разные мероприятия по предотвращению возможных деформаций оснований и повышению их несущей способности: 1) для илов и сапропелей; 2) для торфов и заторфованных грунтов.

Илы и сапропели. При строительстве следует помнить, что слой ила на дне водоемов всегда обладает худшими свойствами, чем слой

Репозиторий БНТУ

погребенного ила. При использовании илов в качестве оснований необходимо различать условия их залегания: на дне водоема и подстилается глиной и песком, или между слоями глин и песков. Для улучшения свойств оснований, сложенных илами, возможно [2]:

• заменять ил на другой грунт;

• прорезать слой ила сваями и опираться на прочные грунты;

• на ил набрасывать камень или намывать слой песка либо устраивать дренажные скважины, что одновременно сокращает сроки уплотнения грунтов.

Торфы и заторфованные грунты. Торфы являются полезными ископаемыми (энергоносители) и поэтому их рассматривать только как основание объектов нецелесообразно. Строительство на заторфованных грунтах в зависимости от их свойств и мощности слоев осуществляется: 1) без специальных мероприятий с применением только конструктивных строительных решений в зданиях и сооружениях; 2) с использованием специальных строительных работ, аналогичных илам.

Торф – огносительно молодой фитогенный грунт, образующийся при отмирании и разложении болотной растительности в условиях избыточного увлажнения и недостаточного доступа кислорода. Сухое вещество торфа состоит из неразложившихся растительных волокон, продуктов их разложения – гумуса и минеральных веществ – золы. Содержание золы не превышает, как правило, 40 %. Торфы имеют чрезвычайно высокую влажность в естественном залегании. В массиве она может достигать 500 – 1000 и даже 2000 % или более (по отношению к весу сухого вещества).

Плотность скелета торфов 0,07 – 0,2 г/см^3, очень редко 0,5 г/см^3. Поэтому пористость, а соответственно и сжимаемость чрезвычайно велики. В условиях естественного залегания торф практически находится в скрыто-текучей консистенции, обладает весьма низкой набухаемостью, при высыхании дает значительную усадку. Водопроницаемость торфа сильно зависит от степени разложения органических остатков. Он обладает анизотропией свойств за счет слоистости торфяных залежей.

Результаты исследований Е. М. Сергеева и других авторов свидетельствуют о значительных величинах $\boldsymbol{c}$ и $\boldsymbol{\varphi}$ у торфов при сравнительно высоких влажностях (200 – 1000 %). При дальнейшем росте

Репозиторий БНТУ

влажности c и φ постепенно снижаются и падают до нуля при влажности около 1500 %. При влажности 300 % φ = 24 – 30°, а c = 0,03 – 0,05 МПа, а при влажности 1500 % φ составляет всего 0 – 5° и c = 0,004 – 0,01 МПа. В целом торфяные грунты достаточно неоднородны по своему генезису, составу, строению и состоянию, что естественно влечет за собой очень широкий диапазон изменения их инженерно-геологических характеристик. Неоднородность строения и состава торфяной залежи при ее сильной сжимаемости могут привести к значительным неравномерным осадкам возводимых на них сооружений. Эти осадки обычно протекают в течение длительного периода времени.

Свойства засолённых грунтов. К засоленным относятся дисперсные грунты со значительным количеством водорастворимых солей. Это могут быть пески, супеси, суглинки, глины и в некоторых случаях даже крупнообломочные грунты. Они типичны для поверхности земли и свойственны районам с засушливым климатом.

Среди водорастворимых солей в грунтах находятся хлориды (типа минерала галита) и кислые соли угольной кислоты, сульфаты (типа гипса). Карбонаты (типа кальцита) тоже растворяются в воде, но слабо, причем длительное время и при наличии в воде агрессивной углекислоты. Количество солей в различных грунтах неодинаково и колеблется от 0,3 до 5 % и больше (к весу грунта). Считаются засоленными при количестве солей свыше: пески – 0,5 %; пылевато-глинистые грунты – 5 %; крупнообломочные грунты – 2 %.

При неправильном орошении сельскохозяйственных полей нередко происходит «засоление» почв и грунтов. На территориях, где эксплуатируются здания и сооружения с большим водообменом, обычно наблюдается обратный процесс – «рассоление».

Водорастворимые соли даже упрочняют грунты, являясь их цементирующей составляющей, но грунтовые основания зданий и сооружений в период эксплуатации объектов обводняются, что приводит к растворению и выщелачиванию солей, т.е. рассолению грунтов оснований.

При возведении объектов используются различные приемы строительства [2]:

• прорезка фундаментами зданий слоя засоленного грунта;

• водозащита оснований от проникновения в них атмосферных и технических вод;

Репозиторий БНТУ

• прекращение фильтрации подземной воды устройством дренажей и непроницаемых экранов и завес;

• отсыпка на засоленный грунт грунтовых подушек из песка или суглинков без соли;

• предпостроечное рассоление и уплотнение грунтового основания.

Свойства мерзлых грунтов. Мерзлые грунты именуют «криогенными» (криос – холод, лед). Для грунтов этого класса характерны структуры с криогенными связями, т. е. скрепленные ледяным цементом. Мерзлое состояние грунтов бывает временным и постоянным (вечным). Первое из них свойственно Беларуси.

Временное мерзлое состояние. Зимой при отрицательных температурах грунты у поверхности земли промерзают и возникает «сезонная» мерзлота. При промерзании дисперсные связные и несвязные грунты за счет ледяного цемента приобретают повышенную прочность, несколько увеличивают объем и становятся водонепроницаемыми, Предел прочности при сжатии суглинков и глин достигает 6 МПа и более. При небольшой влажности свойства песков с отрицательной температурой мало меняются.

Весной лед растаивает, дисперсные грунты насыщаются водой и теряют прочность, особенно сильно органоминеральные и органические грунты, которые могут переходить в разжиженное состояние и выдавливаться из-под фундаментов сооружений.

В строительстве при сезонном промерзании грунтов всегда учитывается глубина промерзания $\boldsymbol{d_f}$, которая зависит от климата и литологических особенностей грунтов. Величина $\boldsymbol{d_f}$ колеблется от нескольких сантиметров до 2 – 3 м и определяется:

• по карте, где показывается среднее значение по каждой местности;

• по расчетным формулам;

• по итогам многолетних наблюдений (более 10 лет) за глубиной промерзания в данной местности. Искомое значение используют при проектировании объектов.

Морозное пучение проявляется зимой в виде локальных поднятий дорожных одежд (на 0,2 – 0,5) в силу промерзания деятельного слоя. Весной грунт оттаивает и на месте пучения образуется яма. Морозное пучение предупреждается рядом мероприятий, отраженных в проектной документации и прежде всего за счет назначения глубины заложения фундаментов ниже зоны промерзания, особенно

Репозиторий БНТУ

в пучинистых грунтах.

Свойства техногенных грунтов. При проведении различных строительных и горных работ и хозяйственной деятельности человека возникает большое количество отложений, представляющих собой производственные отходы (отвалы шахт, заводов, городские свалки и т. д.) или специально созданных человеком в строительных и производственных целях (намывные грунты, грунты обратной засыпки, насыпи дорог и т.д.). Эти образования получили название *техногенных грунтов.* Под *техногенными грунтами* понимают также измененные и перемещенные естественные грунты и почвы, а также антропогенные образования. К *антропогснным образованиям* относят твердые производственные отходы, у которых произошло коренное изменение состава, структуры и текстуры природного минерального и органического сырья.

Наибольшая часть искусственных грунтов на Земле приурочена к промышленным и городским территориям. Особое беспокойство при этом у человечества вызывают бытовые и производственные отходы, которые занимают очень большие, непрерывно расширяющиеся площади и уже наносят серьезный вред жизненной среде человека.

Много искусственных грунтов образуется также в результате военных действий и чрезвычайных ситуаций, что тоже сильно изменяет облик земной поверхности, нарушает природные массивы, создает искусственные грунтовые накопления из природных минеральных масс и за счет разрушенных зданий и сооружений.

Техногенные грунты используются в качестве оснований, а также материала для различных инженерных сооружений (земляных плотин, насыпей автомобильных и железных дорог и пр.).

Классификация техногенных грунтов. Инженерно-геологические свойства техногенных грунтов определяются составом материнской породы или отходов производственной и хозяйственной деятельности, характером воздействия на них человека. В соответствии с классификацией грунтов согласно СТБ 943-93 и ГОСТ 25100-95 «Грунты. Классификация» техногенные грунты выделены в отдельный класс.

Классификация техногенных грунтов включает шесть таксономических единиц, выделяемых по следующим признакам:

• класс – по общему характеру структурных связей;

• группа – по характеру структурных связей (с учетом их проч-

Репозиторий БНТУ

ности);

• подгруппа – по происхождению и условиям образования;

• тип – по вещественному составу;

• вид – по наименованию грунтов (с учетом размеров частиц и свойств);

• разновидность – по количественным показателям вещественного состава и структуры грунтов.

Природные перемешенные образования. К ним относятся природные грунты, изъятые из мест их естественного залегания, подвергнутые частично производственной переработке в этом процессе. Такие образования формируются, как правило, из дисперсных связных и несвязных грунтов.

Перемешенные образования по способам укладки делят на насыпные и намывные.

Насыпные грунты подразделяют на планомерно и неланомерно отсыпанные, на строительные и промышленные. К строительным следует отнести насыпи автомобильных и железных дорог, плотин и дамб, насыпи под основания зданий и сооружений, грунты обратной засыпки при строительстве подземных линейных сооружений. К промышленным – вскрышные породы, горные выработки.

Насыпные грунты формируются из материала соседних выемок или доставленного к месту строительства из котлованов, карьеров и разрезов. Структура, водный и воздушный режим грунтов в насыпях будет иной по сравнению с естественными.

В процессе подготовки грунтов к выемке и при погрузочных, транспортных и отвальных работах происходит разрыхление грунтов. Коэффициент разрыхления песков (отношение плотности в условиях естественного залегания и в насыпи) составляет 1,1 – 1,25; у глин он может увеличиваться до 1,6.

Различают однородные и неоднородные насыпи. Неоднородность насыпи может быть вызвана в процессе отсыпки грунтов. При этом мелкие и крупные фракции грунтов концентрируются соответственно в верхней и нижней частях насыпи. В случае отсыпки неоднородных грунтов (песков и глин) песчаная масса концентрируется в верхней части насыпи, а куски и комки глины или крупные обломки скатываются вниз.

Прочностные характеристики насыпных грунтов необходимо определять с учетом условий формирования насыпных откосов. При

Репозиторий БНТУ

расчетах устойчивости насыпи, сложенной глинистыми водонасыщенными грунтами, следует учитывать незавершенность уплотнения грунтовых масс, оцениваемую по результатам сдвиговых испытаний, выполненных для различных стадий уплотнения. Влияние фактора времени на состояние насыпи сказывается в прибретении этими грунтами уплотнения и сцепления упрочнения. Величина «вторичного» сцепления существенно зависит [2] от состава грунтов, времени существования насыпи и упрочняющей нагрузки (табл. 7).

Намывные грунты. Создаются средствами гидромеханизации с помощью трубопроводов. При организованных намывах возникают грунты с заранее заданными свойствами, например, высокоплотные толщи песка в качестве оснований зданий и сооружений. При неорганизованном намыве перемещают грунт для освобождения рабочих площадей, месторождений полезных ископаемых или строительных материалов.

Таблица 7

Время приобретения грунтами естественной плотности
(по данным исследований на газопроводах)

Тип грунта	Сроки уплотнения, годы
Пески средние и мелкие	2 – 4,5
Супеси	4 – 6
Суглинки и глины	8 – 12
Супесчано-песчаные грунты с примесью слаборазложившегося торфа	2 – 4

Намыв грунтов способами гидромеханизации всегда включает:

• гидравлическую разработку грунта (обычно землесосными снарядами, реже гидромониторами);

• гидротранспорт грунта (по магистральным и распределительным трубопроводам);

• намыв грунтов в земляные сооружения или намывные территории.

Свойства намывных грунтов зависят от рельефа ложа и климата, состава, состояния и свойств подстилающих намывные сооружения грунтов.

Репозиторий БНТУ

Специалисты выделяют три стадии формирования свойств намывных грунтов: уплотнение, упрочнение и стабилизированное состояние намывных грунтов. Для большинства намывных песков длительность стадии уплотнения не превышает 1 года. Стадия упрочнения имеет продолжительность 1,5 до 3 лет. Стадия стабилизационного состояния упрочнения намывных грунтов продолжается до 10 лет.

Антропогенные образования. К ним относят: *бытовые отходы* на городских и поселковых свалках и *промышленные отходы,* включая строительные отходы, шлаки, шламы, золы, золошлаки и др. В пределах промышленных центров и городских свалок большинство антропогенных образований являются источниками экологического загрязнения природной среды и особенно верхней части литосферы и гидросферы,

Накопление (складирование) антропогенных образований происходит за счет отвала или намыва различного мусора («культурного слоя») в пределах городских территорий, на специально отведенных площадях под городские свалки твердых бытовых отходов и строительного мусора, на полях фильтрации, в пределах хвостохранилищ крупных промышленных предприятий (металлургических комбинатов, ТЭС и ТЭЦ и др.).

Антропогенные образования имеют своеобразный состав, формирующийся в процессе их накоплении. Для большинства городских свалок отмечается крайняя неоднородность состава как по вертикали, так и в горизонтальном направлении, сильная изменчивость мощности этих отложений по простиранию (от нескольких сантиметров до 15 – 21 м). Для насыпных и намывных антропогенных образований в хвостохранилищах состав отложений может отличаться большой однородностью (шлаки, зола и др.).

Основные инженерно-геологические свойства антропогенных образований зависят от их минералогического и гранулометрического состава, глубины залегания (мощности), наличия или отсутствия органических веществ (органических остатков), водонасыщенности, минерализации подземных вод, длительности существования, рельефа и характера естественных подстилающих грунтов. Возводить здания и сооружения на бытовых свалках весьма трудно, но лучше на промышленных отходах, особенно типа отвалов и намывных хвостохранилищ ГОК. Общим для всех этих грунтов является недоуплотненность, водонасыщенность, способность к большой сжимаемости.

Репозиторий БНТУ

Ориентировочно требуются следующие сроки для завершения уплотнения различных видов антропогенных образований: I) отвалов шлаков, формовочной земли, отходов обогатительных фабрик, золы с учетом состава – 10 – 20 лет; 2) свалок отходов различных производств и бытовых отходов в зависимости от состава – 10 – 30 лет.

При складировании и строительстве сооружений из антропогенных образований с учетом активизации или возникновения неблагоприятных инженерно-геологических процессов, должны разрабатываться оптимальные меры по охране природной среды.

Места складирования антропогенных образований должны размещаться:

• на площадях с инженерно-геологическими и гидрогеологическими условиями, требующими наименьших затрат на природоохранные мероприятия;

• ниже мест водозаборов питьевой воды; рыбоводных хозяйств и мест нереста рыбы:

• на землях, не пригодных для сельского хозяйства, промышленного и гражданского строительства.

Улучшенные грунты. Многие грунты в природном состоянии по своим свойствам не отвечают тем или иным требованиям строительства. Они могут быть недостаточно прочными, не водостойкими, переувлажненными, рыхлыми, с большим содержанием органического материала и т. д. В связи с этим появляется потребность в преобразовании грунтов и придании им тех или иных необходимых для строительства свойств.

Природные грунты, свойства которых ухудшились в процессе строительных работ (искусственно разрыхленные, увлажненные и т.д.), называют *ухудшенными*. Свойства грунтов, главным образом, прочностные и деформативные характеристики, могут быть искусственно изменены в лучшую сторону с помощью технической мелиорации. В этом случае грунты называют *улучшенными*.

Улучшение свойств грунтов производят в условиях природного залегания, после соответствующей переработки с последующей их укладкой в основание объекта или перемешивания. Каждый улучшенный грунт имеет наперед заданные свойства и становится вполне пригодным для решения тех или иных строительных задач. Для промышленно-гражданского строительства улучшенные грунты чаще всего используются в качестве оснований зданий и сооружений.

Репозиторий БНТУ

4.8. Техническая мелиорация грунтов

При решении инженерно-строительных задач очень часто приходится преобразовывать природные грунты для изменения (улучшения) их свойств в соответствии с требованиями видов строительства. Согласно СТБ 943-93 и ГОСТ 25100-95, *природными образованиями, измененными в условиях естественного залегания,* являются грунты, у которых средние значения показателей химического состава изменены не менее чем на 15 %. К ним относятся не только грунты, подвергшиеся целенаправленным изменениям, но и природные, в которых произошли различные изменения в составе, строении, состоянии и свойствах.

Наиболее широкое применение ***техническая мелиорация грунтов*** нашла при строительстве зданий и сооружений в целях искусственного изменения свойств грунтов для улучшения их свойств: прочности, водоустойчивости, снижения водопроницаемости, что особенно важно, когда эти грунты используются в качестве оснований.

Существуют два основных пути получения улучшенных грунтов – *уплотнение* (изменение физическим воздействием) и *закрепление* (изменение физико-химическим воздействием). При физическом воздействии (уплотнении, замораживании или оттаивании и т. д.) изменяют строение и фазовый состав у природных грунтов. При физико-химическом воздействии изменяют их вещественный состав, структуру и текстуру. При уплотнении дисперсных грунтов, как правило, происходит уменьшение их пористости с увеличением количества контактов между частицами. Это приводит к увеличению общей прочности грунтового основания и уменьшению его сжимаемости. Грунты уплотняются как с поверхности (катками, тяжелыми трамбовками, вибрацией, замачиванием), так и в глубине толщ (грунтовые столбы, взрывы, замачивание и т. д.).

При закреплении увеличивается прочность грунтов за счет склеивания частиц грунта или грунтовых агрегатов различными химическими веществами (силикатизация, цементация и другие методы), спекания частиц друг с другом (при обжиге грунтов, применение СВЧ – сверхвысоких частот), путем создания ледовых контактов (замораживание грунтов), путем армирования грунтового массива (применение различных типов анкеров, геотекстильных и нетканых

Репозиторий БНТУ

синтетических материалов) и т. п.

Для упрочнения скальных и полускальных трещиноватых грунтов используют в основном закрепляющие методы – цементацию, битумизацию, глинизацию и др. Улучшение свойств дисперсных грунтов производятся всеми методами как закрепления, так и уплотнения. Для крупнообломочных грунтов используют силикатизацию, цементацию, бигумизацию, замораживание (при небольших значениях коэффициентов фильтрации); для песчаных грунтов – силикатизацию, термическую обработку (обжиг, замораживание), смолизацию, кольматацию, виброуплотнение, трамбование. укатку, замачивание и др.; для связных грунтов – электроосмос, термическую обработку, трамбование, укатку, взрывы, замачивание лёссов и др.; для связных органоминеральных и органических грунтов (илы. торф, заторфованные грунты и др.) – электроосмос, электрохимическое закрепление, гравитационное уплотнение и др.

Улучшение свойств грунтов в ряде случаев осуществляется после предварительного нарушения природных структурных связей (трамбование, укатка), а в других случаях это достигается при сохранении таких связей (силикатизация, химическая обработка).

Дисперсные грунты. Улучшить свойства рыхлых и связных грунтов можно различными методами технической мелиорации, которые разделяют на две группы: уплотнение и закрепление грунтов. Под *уплотнением* имеется в виду механическое упрочнение грунтов, а под *закреплением* все другие способы улучшения свойств (физические, физико-химические и химические).

Физико-механические методы позволяют уплотнять дисперсные грунты внешними нагрузками (давлением, ударами, вибрацией). Есть такие способы уплотнения грунтов: 1) трамбованием; 2) грунтонабивными столбами; 3) виброуплотнением; 4) энергией взрыва; 5) укаткой; 6) гравитацией. Сущность всех этих способов однотипная – уплотнение грунтов происходит за счет уменьшения пористости. При этом природные структуры грунтов нарушаются и формируются новые структурные связи. Механически уплотняют как рыхлые, так и связные грунты.

Трамбование. В промышленно-гражданском строительстве чаще всего применяют механическое уплотнения пылевато-глинистых грунтов железобетонными или металлическими трамбовками массой до 7 т, сбрасываемыми на грунт с некоторой высоты. В последние годы

Репозиторий БНТУ

появился опыт применения сверхтяжелых трамбовок (до 80 – 100 т), сбрасываемых с высоты свыше 25 м (метод ИДУ – интенсивного динамического уплотнения). Глубина затрамбованных лёссовых просадочных суглинков может достигать 3 – 3,5 м (при сверхтяжелых трамбовках значительно больше). Применяют также двухслойное уплотнение. Вначале на дне котлована вытрамбовывается первый слой. Далее на него отсыпается такой же грунт и тоже трамбуется. Общая мощность утрамбованного грунта при этом может достигать 5 м. Использование выштамповывания строительных котлованов (траншей) позволяет получать на их дне уплотненный грунт.

Грунтонабивные столбы относят к методам глубинного уплотнения грунтовых массивов. Вначале в грунте проходят буровые скважины. Далее скважины заполняют грунтом с уплотнением. При этом вокруг скважин образуются зоны из уплотненных грунтов. Такие спрессованные столбы придают прочность массивам грунтов.

Виброуплотнение применяют для повышения плотности песков. Различают поверхностное и глубинное виброуплотнения. Поверхностное производят с помощью вибрирующей плиты (уплотняет до глубины 3 м) и используют для уплотнения оснований, дорожных одежд, песчаных подушек и насыпей. Глубинное осуществляют специальными вибраторами при одновременном насыщении грунтов водой. Этот способ применяют в основном для повышения несущей способности грунтов оснований.

Энергия взрывов (сейсмическое уплотнение) может дать эффект уплотнения грунтов в глубине массивов только при использовании малых, особенно кумулятивных, зарядов ВВ. ***Большие заряды способствуют разупрочнению грунта вокруг создаваемых полостей, а зона спрессовывания смещается от нее на значительное расстояние. Этот факт традиционно не учитывают, что приводит к серьезным просчетам***.

Укатку грунтов применяют главным образом в дорожном строительстве, а также при подготовке оснований под полы в промышленных цехах и при планировке территорий строительных площадок.

Метод гравитации в виде статических нагрузок используют для уплотнения водонасыщенных грунтов (илов, торфяников и пр.). В качестве пригрузки используют песок (гравий, галечник) слоями мощностью 2 – 3 м. Под действием нагрузки вода отжимается, за счет чего илы и торфы постепенно уплотняются и становятся доста-

Репозиторий БНТУ

точно надежным основанием. Для повышения эффекта требуется дренирование илов.

Метод замачивания используют для механического уплотнения лёссовых просадочных грунтов, причем как до строительства и в период эксплуатации объектов.

Физические методы используют электрические, температурные, магнитные воздействия, что позволяет повышать плотность, прочность, водо- и морозостойкость грунтов. Наибольшее распространение получили методы, базирующиеся на использовании постоянного электрического тока *(электрохимическое закрепление и осушение, грунтов)*, а также на *обжиге* и *замораживании.*

Электрический постоянный ток применяется для: *электрохимического уплотнения; электроосмотического осушения* грунтов. Сущность методов заключается в пропускании через сильно влажные глинисгые грунты постоянного электрического тока. Для этого в грунт забивают металлические трубы – электроды и пропускают ток. Катионы из водного порового раствора начинают передвигаться к катоду, а от катода к аноду. В свою очередь, начинают перемещаться и анионы. При возникновении химических реакций образуются новые вещества, упрочняющие структуру грунта. Передвижение воды от анода к катоду приводит к осушению грунта.

Эффективность метода улучшения свойств грунтов электрическим током можно увеличить за счет предварительного введения в грунт растворов солей или химических веществ, способствующих образованию новых и более прочных структурных связей.

Обжиг («термическое закреплением» грунтов) за счет высоких температур позволяет увеличивать прочность грунтов. Для этого в скважины подают горячие газы, или в них сжигают горючее вещество. При температуре 900 – 1000^{o}С вокруг каждой скважины в радиусе 1 – 1,5 м грунт превращается в камнеподобное тело, похожее на кирпич, становится прочным, водоустойчивым и теряет просадочные свойства.

Замораживание. Отрицательные температуры используются для временного закрепления обводненных грунтов, главным образом, в целях прекращения движения грунтовой воды и проникновения ее в будущий строительный котлован. Для этого вокруг будущего котлована бурят скважины, в которые от специальной установки подают холодный раствор. Обычно для этого используется раствор хло-

Репозиторий БНТУ

ристого кальция с температурой до – 17°С. В итоге вокруг котлована образуется льдогрунтовая стенка, препятствующая проникновению воды в котлован, что позволяет в нем производить строительные работы. По их окончанию подача холода прекращается и лед растаивает. Замораживать можно все водонасыщенные грунты, но чаще применяют для песков.

Физико-химические методы предназначены для обработки дисперсных грунтов на поверхности и позволяют сохранять или несколько упрочнять их структуру, защищать ее от воздействия воды. Улучшение свойств происходит обработкой грунтов небольшим количеством (не более 1 – 3 % от веса грунта) определенных реагентов, которые воздействуют на поверхность минеральных частиц и в целом на всю структуру.

К физико-химическим методам относятся:

• солонцевание грунтов (обработка солями);

• глинизация (или иначе «кольматация») массивов грунтов глинистыми растворами;

• гидрофобизация, т. е. покрытие грунтовых структур поверхностно-активными веществами, отталкивающими воду.

Все эти методы чаще всего используют в дорожном строительстве. Для укрепления лёссов и песков в промышленно-гражданском строительстве наиболее эффективным способом является кольматация путем нагнетается под давлением суспензий из монтмориллонитовой глины. Глинистые частицы заполняют поры, усиливают структурные связи и делают грунты более прочными, менее водопроницаемыми.

Химические методы позволяют улучшать свойства грунтов, воздействуя на них органическими и неорганическими вяжущими веществами в количестве 1 – 5 %. Упрочнение грунтов происходит в результате изменения их состава и характера структурных связей. Грунты после такой обработки значительно увеличивают свою прочность, водо- и морозостойкость, уменьшается их водопроницаемость. Наиболее широко из химических методов применяют битумизацию и смолизацию (органические вяжущие), силикатизацию, цементацию и известкование (минеральные вяжущие). Обработка грунтов органическими веществами и известкование относятся к поверхностным методам, а с неорганическими вяжущими – к глубинным.

Репозиторий БНТУ

Битумизация – закачка в грунты битумов в виде расплавов, эмульсий или паст.

Смолизация — это упрочнение грунтов синтетическими полимерами (смолами).

Силикатизация предполагает нагнетание в грунты технического силиката натрия (жидкого стекла), который при взаимодействии с коагулятором выделяет гель кремниевой кислоты. Этот гель выполняет роль искусственного цемента для грунтов, которые становятся камнеподобными, прочными, водонепроницаемыми.

Цементация*,* как один из способов улучшения свойств грунтов, применяется во многих видах строительства. В технической мелиорации наиболее часто используют портландцемент, которым скрепляют трещины скальных грунтов. В нескальные грунты цемент вводится через скважины-инъекторы под давлением. Раствор может состоять из одного цемента, либо со специальными добавками. Он заполняет трещины и поры, твердеет, существенно повышает прочность и водонепроницаемость грунтов.

Цементация осуществляется по всей глубине толщи грунтов и особенно хороший эффект дает в песках, гравии, галечниках.

Вышеприведенные методы закрепления грунтов путем закачки в них под давлением соответствующих суспензий и растворов предполагает их проникновение в поры и пропитку грунтов. Однако это возможно только при условии отсутствия мелких фракций и достаточно больших по размеру пор. В противном случае происходит лишь опрессовка грунта вокруг заполненных раствором расширяемых скважин и гидроразрывных трещин.

5. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД

5.1. Общие сведения о подземных водах

Воды верхней части земной коры называют *подземными.* Науку о подземных водах, их происхождении, условиях залегания, законах движения, физических и химических свойствах, связях с атмосферными и поверхностными водами называют *гидрогеологией.*

Для строителей подземные воды в одних случаях служат источником водоснабжения, а в других выступают как фактор, затруд-

Репозиторий БНТУ

няющий строительство. Особенно сложно производить земляные и горные работы в условиях притока подземных вод. затапливающих котлованы, карьеры, траншеи. Подземные воды ухудшают механические свойства рыхлых и глинистых грунтов, могут являться агрессивной средой для строительных материалов, вызывать растворение пород с образованием пустот.

Строители должны использовать подземные воды в производственных целях, уметь бороться с ними при строительстве и эксплуатации зданий и сооружений.

Вода в земле находится в постоянном движении. Испаряясь с поверхности морей, океанов и суши, она в виде пара поступает в атмосферу. Затем пары конденсируются и в виде атмосферных осадков (дождь, снег) возвращаются на поверхность Земли – в морские бассейны и на сушу. Происходит *круговорот воды в природе*.

Интенсивность водообмена подземных вод. В процессе круговорота воды в природе происходит постоянное возобновление природных вод, в том числе и подземных. Процесс смены первоначально накопившихся вод поступающими вновь называют *водообменом.* Подсчитано, что в круговороте воды на Земле ежегодно участвует более 500 тыс. км^3 воды. Наиболее активно возобновляются речные воды.

Количественное выражение круговорота воды. Круговорот воды. в природе количественно описывается уравнением водного баланса

$$Q_{а.о.} = Q_{подз} + Q_{пов} + Q_{и},$$

где $Q_{а.о.}$ – количество атмосферных осадков; $Q_{подз}$ – подземный сток; $Q_{пов}$ – поверхностный сток; $Q_{и}$ – испарение.

Основные расходные ($Q_{подз}$, $Q_{пов}$, $Q_{и}$) и приходные ($Q_{а.о.}$) статьи водного баланса зависят от климата, рельефа и геологического строения района.

Изучение водного баланса отдельных районов или земного шара в целом необходимо для целенаправленного преобразования круговорота воды, в частности для увеличения запасов пресных подземных вод, используемых для водоснабжения.

Происхождение подземных вод. Подземные воды образуются преимущественно путем *инфильтрации.* Атмосферные осадки, речные и другие воды под действием гравитации просачиваются по крупным порам и трещинам пород. На глубине они задерживаются

Репозиторий БНТУ

на водонепроницаемых слоях грунтов и возникают горизонты подземных вод. Количество воды зависит от многих факторов: характера рельефа, состава и водопроницаемости грунтов, климата, растительного покрова, деятельности человека.

Воды земной коры постоянно в течение длительного геологического времени пополняются *ювенильными водами,* которые возникают в глубине земли за счет кислорода и водорода, выделяемых магмой. Прямо выходят воды на поверхность Земли в виде паров и горячих источников при вулканической деятельности.

В зонах замедленного и весьма замедленного водообмена образуются минерализованные (соленые) воды так называемого *седиментационного происхождения* после седиментации древних морских осадков в начале геологической истории земной коры.

5.2. Водные свойства грунтов

Грунты по отношению к воде характеризуются следующими показателями: влагоемкостью, водоотдачей и водопроницаемостью. Показатели этих свойств используются в различных гидрогеологических расчетах.

Влагоемкость — способность грунта вмещать и удерживать в себе воду. Если все поры заполнены водой, грунт будет находиться в состоянии полного насыщения. Влажность, отвечающая этому состоянию, называют ***полной влагоемкостью*** $w_{п.в.}$.

По степени влагоемкости грунты подразделяют на *весьма влагоемкие* (торф, суглинки, глины), *слабо влагоемкие* (мергель, мел, рыхлые песчаники, мелкие пески, лёсс) и *невлагоемкие,* не удерживающие в себе воду (галечник, гравий, песок).

Водоотдача $w_в$ — способность насыщенных водой грунтов отдавать гравитационную воду в виде свободного стока. При этом считают, что физически связанная вода из пор грунта не вытекает, поэтому принимают $w_в = w_{п.в.} - w_{м.м.в}$.

Величина водоотдачи может быть выражена процентным отношением объема свободно вытекающей из грунта воды к объему грунта, или количеством воды, вытекающей из 1 м^3 грунта (удельная водоотдача). Наибольшей водоотдачей обладают крупнообломочные грунты, пески и супеси, в которых величина $w_в$ колеблется от 25 до 43 %. Эти грунты под влиянием гравитации способны от-

Репозиторий БНТУ

давать почти всю имеющуюся в их порах воду. В глинах водоотдача близка к нулю.

Водопроницаемость — способность пропускать гравитационную воду через поры грунтов и трещины скальных грунтов. Чем больше размер пор и трещин, тем выше водопроницаемость пород. Не всякий пористый грунт способен пропускать воду. Нанапример, глина с пористостью 50 – 60% её практически не пропускает.

Водопроницаемость грунтов (или их фильтрационные свойства) характеризуется *коэффициентом фильтрации* $\boldsymbol{K_ф}$ (см/с, м/ч или м/сут), представляющим собой скорость движения подземной воды при гидравлическом градиенте, равном 1.

По величине $\boldsymbol{K_ф}$ грунты разделяют на: 1) водопроницаемые – $\boldsymbol{K_ф}$ > 1 м/сут (галечники, гравий, песок, трещиноватые породы); 2) полупроницаемые – $\boldsymbol{K_ф}$= 1 – 0,001 м/сут (глинистые пески, лёсс, торф, рыхлые разности песчаников, реже пористые известняки, мергели); 3) непроницаемые – $\boldsymbol{K_ф}$ < 0,001 м/сут (скала, глины).

Непроницаемые грунты являются *водоупорами,* а полупроницаемые и водопроницаемые – *водоносными горизонтами.*

В фильтрации может принимать участие вода в связанном состоянии. Так, в глинах ее приводят в состояние движения увеличением разности напоров (градиента фильтрации), действием электро- и териоосмотических сил.

5.3. Свойства и состав подземных вод

При оценке **свойств подземных вод** исследуют вкус, запах, цвет прозрачность, температуру и другие физические свойства, которые характеризуют так называемые *органолептические свойства* воды (определяемые при помощи органов чувств). Органолептические свойства могут резко ухудшаться при попадании в воду естественным или искусственным путем различных примесей (минеральных взвешенных частиц, органических веществ, некоторых химических элементов).

Температура подземных вод колеблется в широких пределах исходя из глубины залегания водоносных слоев, особенностей геологического строения, климатических условий и т. д. Различают воды холодные (температура от 0 до 20°С), теплые, или субтермальные, волы (20 – 37°С), термальные (37 – 100°С), перегретые (свыше 100°С). Очень холодные подземные воды циркулируют в зоне мно-

Репозиторий БНТУ

голетней мерзлоты, в высокогорных районах; перегретые воды характерны для районов молодой вулканической деятельности. На участках водозаборов температура воды 7 – 11°С.

Химически чистая вода *бесцветна.* Окраску ей придают механические примеси (желтоватая, изумрудная и т. д.). Прозрачность воды зависит от цвета и наличия мути. Вкус связан с составом растворенных веществ: соленый – от хлористого натрия, горький – от сульфата магния и т. д. Запах зависит от наличия газов биохимического происхождения (сероводород и др.) или гниющих органических веществ.

Плотность воды — масса воды, находящаяся в единице ее объема. Максимальная при температуре 4°С. С повышением температуры до 250°С плотность воды уменьшается до 0,799 г/см^3, а при увеличении количества растворенных в ней солей повышается до 1,4 г/см^3. Сжимаемость подземных вод характеризуется *коэффициентом сжимаемости,* показывающим, на какую долю первоначального объема жидкости уменьшается объем при увеличении давления на 10^5 Па. Коэффициент сжимаемости подземных вод составляет 2.5 х $10'^5$ – 5 х 10^5 Па, т. е. вода в некоторой степени обладает упругими свойствами, что важно при изучении напорных подземных вод.

Вязкость воды характеризует внутреннее сопротивление частиц ее движению. С повышением температуры вязкость подземных вод уменьшается.

Электропроводность подземных вод зависит от количества растворенных в них солей и выражается величинами удельных сопротивлений от 0,02 до 1,00 Ом-м.

Радиоактивность подземных вод вызвана присутствием в ней элементов урана, стронция, цезия, радия, газообразной эманации радия-радона и др.. Даже ничтожно малые концентрации – сотые и тысячные доли (мг/л) некоторых радиоактивных элементов – могут быть вредными для человека.

Химический состав подземных вод. Все подземные воды всегда содержат различное количество растворенных солей, газов, а также органических соединений.

Растворенные в воде газы (О, CO_2, CH_4, H_2S и др.) придают ей определенный вкус и свойства. Количество и тип газов обусловливает степень пригодности воды для питьевых и технических целей. Подземные воды, загрязненные органическими примесями (болез-

Репозиторий БНТУ

нетворные бактерии, органические соединения, поступающие из канализационных систем, и т. д.), имеют неприятный вкус и опасны для здоровья людей.

Соли. Подземные воды содержат больше всего хлоридов, сульфатов и карбонатов, по общему содержанию которых разделяются на пресные (до I г/л растворенных солей), солоноватые (от 1 до 10 г/л), соленые (10 – 50 г/л) и рассолы (более 50 г/л). Количество и состав солей определяют химическим анализом, а результаты выражают в виде состава катионов и анионов (в мг/л или мг-экв/л).

Важным показателем качества подземных вод является суммарное содержание растворенных в воде минеральных веществ, называемое ***общей минерализацией***. Её устанавливают по сухому остатку (в мг/л или г/л) после выпаривания воды при температуре 105 – 110°С. В высокогорных источниках встречаются подземные воды с минерализацией от 0,1 г/л до 500 – 600 г/л. Даже в малых количествах химические элементы оказывают сильное влияние на пригодность подземных вод для различных целей. Наилучшими питьевыми качествами обладают воды при pH = 6,5 – 8,5.

Количество растворенных солей не должно превышать 1,0 г/л. Не допускается содержание вредных для здоровья человека химических элементов (уран, мышьяк и др.) и болезнетворных бактерий. Последнее в известной мере может быть нейтрализовано обработкой воды ультразвуком, хлорированием и кипячением. Вода для питьевых целей должна быть бесцветна, прозрачна, не иметь запаха, быть приятной на вкус.

Жесткость воды обусловлена содержанием ионов кальция и магния, вычисляется расчетным путем по общему содержанию в воде гидрокарбонатных и карбонатных ионов. Жесткая вода дает большую накипь в паровых котлах, плохо мылится и т. д.

В настоящее время жесткость принято выражать количеством миллиграмм-эквивалентов кальция и магния, 1 мг-экв жесткости соответствует содержанию в 1 л воды 20,04 мг иона кальция или 12,6 мг иона магния. В других странах жесткость измеряют в градусах (1 мг-экв = 28^{o}). По жесткости воду разделяют на *мягкую* (менее 3 мг-экв или 8,4^{o}), *средней жесткости* (3 – 6 мг-экв или 8,4^{o}), жесткую (6 – 9 мг-экв или 16,8 – 25,2^{o}) и *очень жесткую* (более 9 мг-экв или 25,2^{o}). Наилучшим качеством обладает вода с жесткостью не более 7 мг-экв/л. Жесткость бывает постоянной и временной. *Вре-*

Репозиторий БНТУ

менная жесткость связана с присутствием бикарбонатов и может быть устранена кипячением. *Постоянная жесткость,* обусловленная сернокислыми и хлористыми солями, кипячением не устраняется. Сумму временной и постоянной жесткости называют *общей жесткостью.*

Агрессивность подземных вод выражается в разрушении растворенными в воде солями строительных материалов, в частности, портландцемента. Поэтому при строительстве фундаментов и различных подземных сооружений необходимо уметь оценивать степень агрессивности подземных вод и определять меры борьбы с ней.

Степень агрессивности вод по отношению к бетону, кроме химического состава воды, зависит от коэффициента фильтрации грунтов. Одна и та же вода может быть агрессивной и неагрессивной. Чем выше скорость движения воды, тем больше воды войдет в контакт с поверхностью бетона и, следовательно, сильнее будет агрессивность.

По отношению к бетону различают следующие виды агрессивности подземных вод:

• общекислотная – оценивается величиной pH, в песках вода считается агрессивной, если pH < 7, а в глинах – pH < 5;

• сульфатная – определяется по содержанию иона SO^{2-}; при содержании SO^{2-} в количестве более 200 мг/л вода становится агрессивной;

• магнезиальная – устанавливается по содержанию иона Mg^{2+};

• карбонатная – связанная с воздействием на бетоны агрессивной углекислоты, этот вид агрессивности возможен только в песчаных грунтах.

Агрессивность подземных вод устанавливают сопоставлением данных химических анализов воды с требованиями нормативов. В качестве меры борьбы с ней используют специальные цементы, производят гидроизоляцию подземных частей зданий и сооружений, понижают грунтовые воды устройством дренажей и т.д.

Агрессивное действие подземных вод на металлы (коррозия металлов). Подземная вода с растворенными в ней солями и газами может обладать интенсивной коррозионной активностью по отношению к железу и другим металлам. Примером может служить окисление (разъедание) металлических поверхностей с образованием ржавчины под действием кислорода, растворенного в воде.

Репозиторий БНТУ

Подземные воды обладают коррозионными свойствами при содержании в них также агрессивной углекислоты, минеральных и органических кислот, солей тяжелых металлов, сероводорода, хлористых и некоторых других солей. Мягкая вода (с общей жесткостью менее 3,0 мг-экв/л) действует значительно агрессивнее, чем жесткая. Наибольшему разъеданию могут подвергаться металлические конструкции под влиянием сильно кислых (pH < 4,5) и сильно щелочных вод (pH > 9,0). Коррозии способствуют повышение температуры подземной воды, увеличение скорости ее движения, электрические токи.

Исходя из оценки коррозионной активности вод по отношению к некоторым металлам выбирают мероприятия по предотвращению возможной коррозии.

Классификации подземных вод. Подземные воды подразделяют [1-3]: по характеру их использования и по условиям залегания в земной коре (рис. 52). В число первых входят хозяйственно-питьевые воды, технические, промышленные, минеральные, термальные. Ко вторым относят воды: верховодки, грунтовые, межпластовые, трещинные, карстовые, вечной мерзлоты. В инженерно-геологических целях подземные воды целесообразно классифицировать по гидравлическому признаку – безнапорные и напорные.

Хозяйственно-питьевые воды. Подземные воды широко используют для хозяйственно-питьевых целей. Пресные подземные воды – лучший источник питьевого водоснабжения, поэтому их не используют для других целей. Глубина залегания пресных подземных вод от поверхности земли обычно не превышает нескольких десятков метров. Однако имеются районы, где они залегают на больших глубинах (300 – 500 м и более). Источником хозяйственно-питьевого водоснабжения являются подземные воды зоны интенсивного водообмена. Солоноватые и соленые подземные воды для хозяйственно-питьевого водоснабжения используют после их искусственного опреснения.

Репозиторий БНТУ

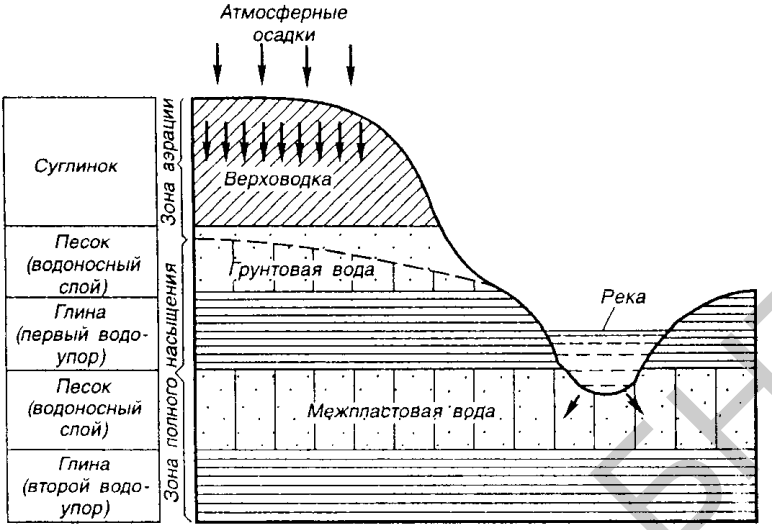

Рис. 52. Классификация подземных вод по условиям залегания в земной коре

Технические воды — это воды, которые используют в различных отраслях промышленности и сельского хозяйства. Требования к подземным техническим водам отражают специфику того или иного вида производства,

Промышленные воды содержат в растворе полезные элементы (бром, йод и др.) в количестве, имеющем промышленное значение. Обычно они залегают в зоне весьма замедленного водообмена, минерализация их высокая (от 20 до 600 г/л), состав хлоридно-натриевый, температура нередко достигает 60 – 80 °С.

Эксплуатация промышленных вод с целью добычи йода и брома рентабельна лишь при глубине залегания вод не более 3 км, уровне воды в скважине не ниже 200 м, объеме извлекаемой воды в сутки не менее 200 м^3.

Минеральные подземные воды имеют повышенное содержание биологически активных микрокомпонентов, газов, радиоактивных элементов и т. д. Они выходят на поверхность земли источниками или вскрываются буровыми скважинами.

Термальные подземные воды имеют температуру более 37°С. Они залегают повсеместно на глубинах от нескольких десятков и сотен метров (в горно-складчатых районах) до нескольких километ-

Репозиторий БНТУ

ров (на платформах). По трещинам термальные воды часто выходят на поверхность земли, образуя горячие источники с температурой до 100°С (Камчатка, Кавказ). Запасы этих вод в земной коре очень большие и их активно используют для теплофикации городов и энергетических целей.

5.4. Характеристика типов подземных вод

Верхняя часть земной коры в зависимости от степени насыщения водой пор грунтов делится па две зоны: верхнюю – аэрации и нижнюю – насыщения. На рис. 52 было показано, как располагаются основные подземные воды в земле.

Зона аэрации расположена между поверхностью земли и уровнем грунтовых вод. В этой зоне, непосредственно связанной с атмосферой и почвенным покровом, наблюдается просачивание атмосферных осадков вглубь, в сторону зоны насыщения. Поры грунтов в зоне аэрации лишь частично заполнены водой, остальная часть их занята воздухом. Зона аэрации играет важную роль в формировании подземных вод. Непосредственно над поверхностью подземных вод располагается зона повышенной влажности – капиллярная кайма.

Зона насыщения грунтов расположена ниже уровня грунтовых вод. В этой зоне все поры. трещины, каверны и другие пустоты заполнены гравитационной водой.

Подземные воды в зоне насыщения циркулируют в виде верховодок, грунтовых, артезианских, трещинных и вод вечной мерзлоты.

Верховодки — это временные скопления подземных под в зоне аэрации над водоупором. В периоды обильного снеготаяния и дождей вода временно задерживается и образует сводообразные водоносные горизонты. В остальное время эта вода испаряется или просачивается в нижележащие грунтовые воды или водовмещаемые слои грунтов. В целом для верховодок свойственно: временный, чаще сезонный характер, небольшая площадь распространения, малая мощность и безнапорность.

Верховодки представляют значительную опасность для строительства. В пределах подземных частей зданий и сооружений (подвалы, котельные и др.), они могут вызвать их подтопление. если заранее не были предусмотрены дренирование или гидроизоляция.

При инженерно-геологических изысканиях в сухое время года,

Репозиторий БНТУ

верховодка не всегда обнаруживается. Поэтому ее появление для строителей может быть неожиданным.

Грунтовые воды. Грунтовыми называют постоянные во времени и значительные по площади распространения горизонты подземных вод, залегающие на первом от поверхности водоупоре. Они характеризуются рядом признаков [1, 2]:

1. Имеют свободную поверхность, т. е. сверху от нее перекрыты водоупорными слоями. Свободная поверхность грунтовых вод называется ***зеркалом*** (в разрезе уровень). Положение зеркала в какой-то мере отвечает рельефу данной местности, причем по ряду причин непостоянно. Глубина залегания уровня от поверхности – от 1 до 50 м и более. Водоупор, на котором лежит водоносный слой, называют ***ложем,*** а расстояние от водоупора до уровня подземных вод – ***мощностью*** водоносного слоя (рис. 53).

Грунтовые воды при свободной поверхности безнапорны. Иногда они проявляют местный напор, связанный с залеганием линзы глины в уровне зеркала (рис. 54).

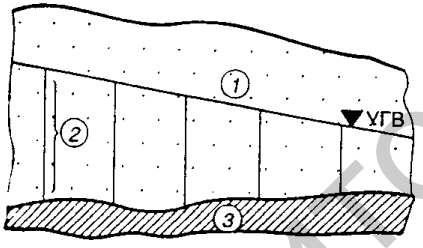

Рис. 53. Грунтовая вода:
1 – уровень грунтовой воды (ГГВ);
2 – мощность грунтовой воды;
3 – ложе (водоупор)

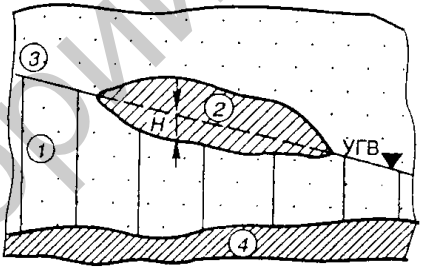

Рис. 54. Схема возникновения местного напора:
1 – грунтовая вода; 2 – линза глины;
3 – зеркало (уровень) грунтовой воды;
4 – водоупор; H – высота напора

2. Питание подземных вод происходит главным образом за счет атмосферных осадков и поступления воды из поверхностных водоемов и рек. Территория, на которой происходит питание, почти совпадает с площадью распространения грунтовых вод. Грунтовая вода открыта для проникновения в нее поверхностных вод, что приводит к изменению ее состава во времени и нередко к загрязнению

Репозиторий БНТУ

различными примесями.

3. Грунтовые воды находятся в непрерывном движении и, как правило, образуют потоки, которые направлены в сторону общего уклона водоупора. В отдельных случаях их залегание имеет форму грунтовых бассейнов (рис. 55), т. е. вода находится в неподвижном состоянии. Грунтовые потоки нередко выходят на поверхность, образуя родники или создавая локальную по площади заболоченность.

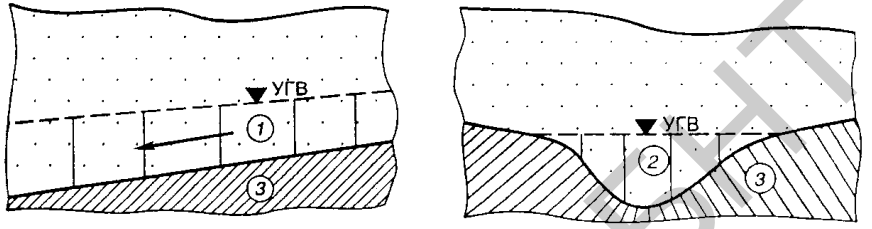

Рис. 55. Формы залегания грунтовых вод:
1 – грунтовый поток; 2 – грунтовый бассейн; 3 – водоупоры

4. Количество, качество и глубина залегания грунтовых вод зависят от геологических условий местности и климатических факторов. Зеркало грунтовых вод в целом примерно копирует рельеф земной поверхности в пределах их расположения. По степени минерализации воды преимущественно пресные, реже солоноватые и соленые, состав гидрокарбонатно-кальциевый, сульфатный и сульфатно-хлоридный.

Грунтовые воды имеют практически повсеместное распространение. В площадном распределении грунтовых вод имеется определенная зональность.

В практике строительства чаще всего приходится встречаться именно с грунтовыми водами. Они при производстве строительных работ заливают котлованы, траншеи, не позволяют нормально эксплуатировать здания и сооружения.

Карты поверхности грунтовых вод (карты гидроизогипс). Для выявления характера поверхности (зеркала) грунтовых вод составляют карты гидроизогипс (рис. 56).

Репозиторий БНТУ

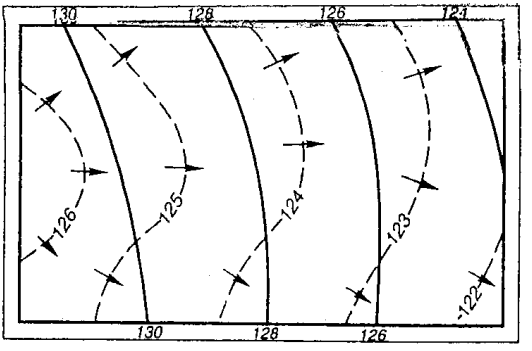

Рис. 56. Карта гидрогизогипс (сплошные линии – горизонтали отметок поверхности Земли; пунктирные линии – уровни подземных вод (гидроизогипсы)

Гидроизогипсами называют линии, соединиющиие точки с одинаковыми абсолютными или относительными отметками уровней грунтовых вод. Эти линии аналогичны горизонталям рельефа местности и подобно им отражают рельеф зеркала вод. Карты гидроизогипс необходимы при решении задач, связанных с проектированием водозаборов подземных вод, борьбой с подтоплением территории и др. Для построения карты гидроизогипс замеряют уровни грунтовых вод в скважинах. Замеры уровней воды должны быть единовременными. Абсолютные отметки уровня подземных вод $h_в$ в скважинах определяют по формуле:

$$h_в = h_{п.з} - h,$$

где $h_{п.з}$ – абсолютная отметка поверхности земли; h – глубина залегания подземных вод от поверхности земли, м. Полученные абсолютные отметки надписывают над каждой скважиной и затем методом интерполяции строят гидроизогипсы. Сечение гидроизогипс (частоту их заложения) выбирают в зависимости от масштаба карты и густоты расположения точек замера от 0,5 до 10,0 м, чаще 0,5; 1,0 и 2,0 м.

С помощью карты гидроизогипс (совмещенной с топографической картой) можно выяснить направление и узнать скорость движения грунтового потока в любой точке, а также можно определить глубину залегания грунтовых вод (по разности отметок горизонталей и гидроизогипс).

Карта гидроизогипс позволяет установить характер связи грун-

Репозиторий БНТУ

товых вод с поверхностными водами (реки, каналы, водохранилища). Эти воды могут питать грунтовые воды или, наоборот, подземная вода пополняет эти водоемы. Это необходимо знать при определении водопритоков к водозаборам.

Межпластовые подземные воды располагаются в водоносных горизонтах между водоупорами. Они бывают ненапорными и напорными (артезианскими).

Межпластовые ненапорные воды встречаются сравнительно редко. Они связаны с горизонтально залегающими водоносными слоями, заполненными водой полностью или частично (рис. 57).

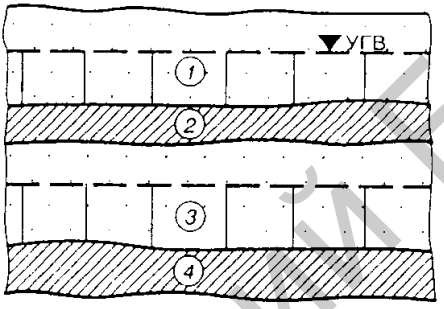

Рис. 57. Межпластовая ненапорная вода:
1 – грунтовая вода; 2 – первый водоупор; 3 – межпластовая вода;
4 – второй водоупор

Напорные (артезианские) воды связаны с залеганием водоносных слоев в виде синклиналей или моноклиналей (рис. 58 и 59). Площадь распространения напорных водоносных горизонтов называют ***артезианским бассейном***.

Отдельные части водоносных слоев залегают на различных высотных отметках, что и создаст напор подземных вод. Напорных подземных горизонтов может быть несколько. Каждый из них имеет область питания там, где водоносные слои выходят на поверхность и имеют высокие отметки. Область питания, как правило, не совпадает с площадью распространения межпластовых вод.

Напорность вод характеризуется пьезометрическим уровнем. Высотное положение уровня связано с характером залегания водоносных слоев. Он может быть выше поверхности земли или ниже ее. В первом случае выходя через буровые скважины, вода фонтанирует,

Репозиторий БНТУ

во втором – поднимается лишь до пьезометрического уровня.

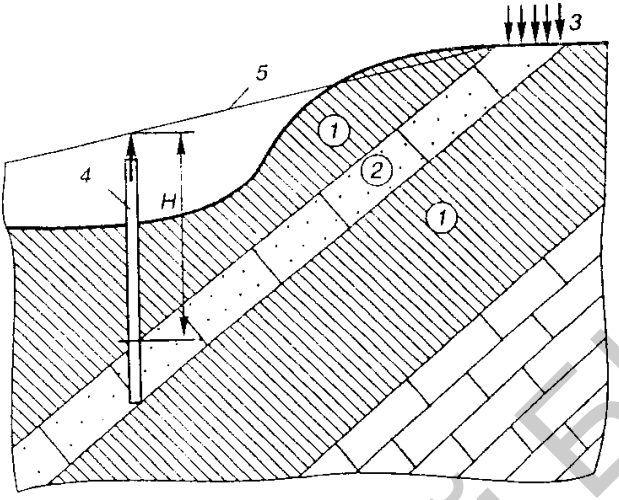

Рис. 58. Артезианская вода при моноклинальном залегании слоев:
1 – водоупоры; 2 – водоносный слой; 3 – область питания водой;
4 – буровая скважина; 5 – пьезометрический уровень; Н – высота напора

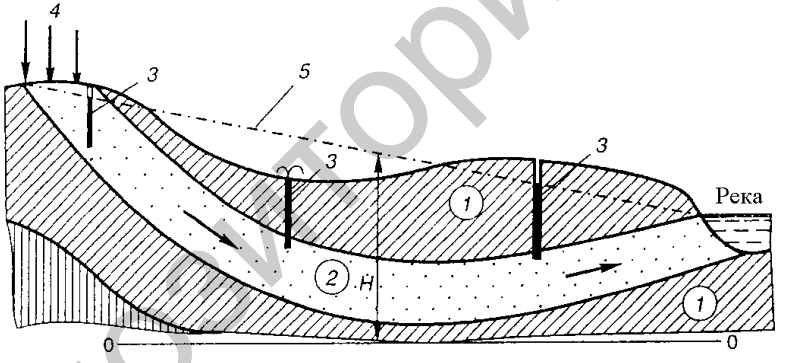

Рис. 59. Артезианский бассейн при синклинальном залегании слоев:
1 – водоупор; 2 – водоносный слой; 3 – буровые скважины; 4 – область питания водой; 5 – пьезометрический уровень; Н – высота напора

Геологические структуры синклинального типа, содержащие один или несколько напорных водоносных горизонтов и занимающие значительные площади (до нескольких сотен тысяч квадратных километров), называют ***артезианскими бассейнами***. При монокли-

Репозиторий БНТУ

нальном залегании слоев образуется ***артезианский склон***.

При использовании артезианских вод для водоснабжения наиболее перспективным считается самый верхний напорный горизонт, где обычно залегают слабоминерализованные (пресные) воды. Химический состав и минерализация артезианских вод изменяются с глубиной.

Карты пьезометрической поверхности напорных вод (карты гидроизопьез). Линии, соединяющие точки с одинаковыми отметками пьезометрического уровня, называют ***гидроизопьезами*** (или ***пьезогипсами)***. С помощью карты гидроизопьез решают ряд практических задач, связанных с использованием артезианских вод для водоснабжения, с организацией защиты от них при вскрытии строительными котлованами кровли напорного пласта и т. д. По карте гидроизопьез изучают условия формирования потоков артезианских вод, определяют направление их движения, выделяют участки возможного самоизлияния, устанавливают гидравлическую связь напорных вод с реками и др.

5.5. Движение подземных вод

Законы движения. Подземные воды могут передвигаться в грунтах путем инфильтрации и фильтрации. Инфильтрация воды происходит в порах с их частичным заполнением воздухом или водяными парами в зоне аэрации. Фильтрация в виде движущегося потока происходит при полном заполнении пор водой.

Движение грунтового потока в водоносных слоях (галечнике, песке, супеси, суглинке) имеет *параллельно-струйчатый или ламинарный характер* и подчиняется закону Дарси. В крупных пустотах происходит вихревое или *турбулентное движение* воды, но это наблюдается сравнительно редко. Движение подземных вод может быть *установившимся и неустановившимся, напорным и безнапорным*.

При *установившемся* движении все элементы фильтрационного потока (скорость, расход, направление и др.) не изменяются во времени либо пренебрежительно малы.

Фильтрационный поток называется *неустановившимся,* если основные его элементы изменяются от координат пространства и от времени. Неустановившееся движение потока происходит под действием различных естественных и искусственных факторов (нерав-

Репозиторий БНТУ

номерная инфильтрация атмосферных осадков, откачка воды из скважины, сброс сточных вод на поля фильтрации и т. д.).

Ненапорные грунтовые воды имеют водоупор снизу и свободную поверхность сверху. Такие воды передвигаются от более высоких мест к низким (рис. 60).

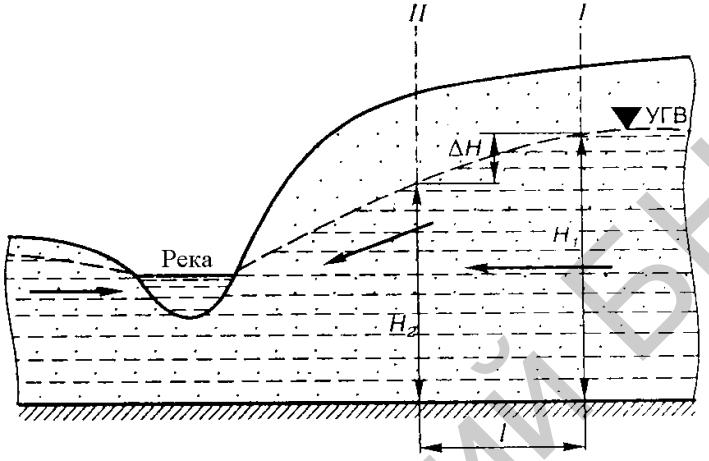

Рис. 60. Схема безнапорной фильтрации грунтовой воды

Разность напоров $\Delta H = H_1 - H_2$ в сечениях 1 и II обусловливает движение воды в направлении сечения II. Скорость движения водного потока зависит от разности напора (чем больше ΔH, тем больше скорость) и длины пути фильтрации l.

Отношение разности напора ΔH к длине пути фильтрации l называют *гидравлическим уклоном (**гидравлическим градиентом**)* $I = \Delta H / l$.

Современная теория движения подземных вод базируется на законе Дарси:

$$Q = K_\phi A \Delta H / l = k_\phi A I ,$$

где Q – расход воды или количество фильтрующейся воды в единицу времени, м^3/сут; K_ϕ – коэффициент фильтрации, м/сут; A – площадь поперечного сечения потока воды, м^2; ΔH – разность напоров, м; l – длина пути фильтрации, м.

Скорость фильтрации $v = Q/A$ или $v = K_\phi I$. Скорость движения воды (фильтрации) измеряется в м/сут или см/с. Эти формулы тре-

Репозиторий БНТУ

буют уточнения в связи с тем, что в них входит величина ***A,*** отражающая все сечение фильтрующейся воды, а вода течет лишь через часть сечения, равную площади пор. Поэтому величина ***v*** является кажущейся. Действительную скорость воды $v_д$ определяют с учетом пористости грунта:

$$v_д = Q/An ,$$

где ***n*** – пористость, выраженная в долях единицы.

Формула скорости воды в этом виде правомерна лишь для песков и крупнообломочных грунтов. В глинистых грунтах часть пор закрыта и вода передвигается только через открытые поры, поэтому в формулу вводят так называемую активную пористость, т. е. с учетом пор, через которые проходит вода. Следует помнить, что движение воды в грунтах происходит обычно с разной скоростью, поэтому при рассмотрении вопроса о движении воды в данном грунте можно говорить лишь об ее средней скорости движения.

Источники. Места естественных выходов воды на дневную поверхность называются *источниками* (ключами, родниками). При прорезании грунтовой воды эрозионной сетью возникают *нисходящие* источники, которые по своему характеру бывают ***сосредоточенные,*** выходящие потоком в одном месте, и ***рассредоточенные*** с просачиванием воды на склоне оврага или речной долины через слой глинистого грунта. После расчистки этого слоя источник может стать сосредоточенным. Интенсивность выхода воды в единицу времени оценивается *дебитом источника* (л/с или м/сут)., Источник, выход вод которого улучшен человеком, называется ***каптированным***. Напорные воды могут давать ***фонтанирующие (восходящие)*** источники.

Форма движения потоков грунтовых вод. На строительных или хозяйственных площадках при решении практических задач по водоснабжению или устройству дренажей почти всегда необходимо знать направление движения потоков воды. Грунтовые воды совершают сложные движения в зависимости от местных геологических условий, рельефа местности и других факторов. Различают потоки *плоские*, *радиальные (сходящиеся и расходящиеся)* и *криволинейные* (рис. 61).

Репозиторий БНТУ

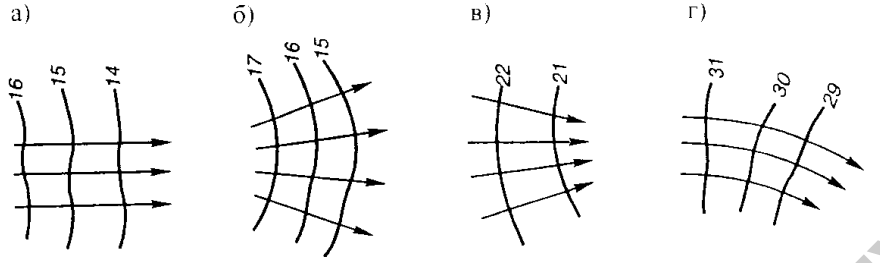

Рис. 61. Формы потоков грунтовых вод:
а – плоский; б – радиальный расходящийся; в – радиальный сходящийся;
г – криволинейный

При определении направления потоков установленное направление может быть справедливо лишь для сравнительно ограниченной территории (участка). Ниже приводятся [2] некоторые способы определения направления движения грунтовых вод.

По карте гидроизогипс направление потока устанавливается по высотным отметкам гидроизогипс (см. рис. 61). Более точные данные для отдельного участка получают методом трех скважин. Берут отметки уровней воды трех скважин, расположенных на вершинах равностороннего треугольника, например, 128, 130 и 125 м (рис. 62).

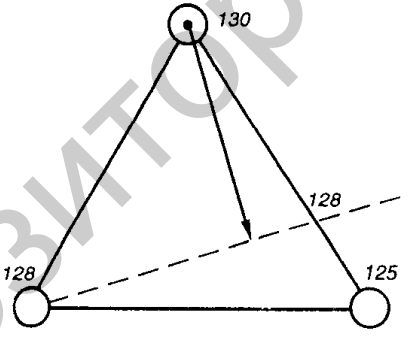

Рис. 62. Определение направления потока грунтовой воды по трем скважинам

Между наибольшей и наименьшей отметкой, т.е. 130 и 125 м путем линейной интерполяции находят точку с отметкой воды 128 м. Две одинаковые отметки соединяют линией. На эту линию с наибольшей отметки опускают перпендикуляр, который и указывает направление потока воды. Можно также использовать метод краси-

Репозиторий БНТУ

телей (или солей). Для этого необходимо иметь несколько скважин. В центральную (опытную) скважину вводят сильный органический краситель (например, метиленовый голубой, щелочно-флюоресцеин и т.д.), появление которого в одной из наблюдательных скважин указывает направление потока воды.

Межпластовые подземные воды. Границами таких потоков служат нижний и верхний водоупор. Напорные потоки характеризуются полным заполнением поперечного сечения водопроницаемого пласта водой, имеется пьезометрический уровень, движение воды происходит как под действием гравитации, так и за счет упругих свойств воды и водовмещающих грунтов, режим фильтрации – упругий.

Напорно-безнапорные потоки образуются при откачке воды из скважин, если пьезометрический уровень опускается ниже кровли напорного водоносного слоя.

Фильтрационные показатели грунтов. Одним из основных фильтрационных параметров является ***коэффициент фильтрации***.

Как следует из основного закона движения подземных вод, коэффициент фильтрации $K_ф$ – это скорость фильтрации при напорном градиенте $I = 1$. Коэффициент фильтрации грунтов определяется размерами и формой пор, свойствами воды (вязкость, плотность), минеральным составом грунтов, степенью засоленности и др. Вязкость воды, в свою очередь, зависит от температуры, поэтому нередко вводится поправочный температурный коэффициент (0,7 – 0,03) для приведения к единой температуре 10^oC.

Методы определения. Приближенная оценка коэффициента фильт-рации возможна [1-2] по табличным данным (табл. 8).

Таблица 8

Характеристика пород	Коэффициент фильтрации, м/сут
1	2
Очень хорошо проницаемые галечники с крупным песком, сильно закарстованные и сильно трещиноватые породы	100 – 1000 и более
Хорошо проницаемые галечники и гравий, частично с мелким песком, крупный песок, чистый средний песок, закарстованные, трещиноватые и другие породы	100 – 10

Репозиторий БНТУ

Окончание табл. 8

1	*2*
Проницаемые галечники и гравий, засоленные мелким песком и частично глиной, средние пески и мелкие, слабозакарстованные, малотрещиноватые и другие породы	10 – 1 1 – 0,1
Слабопроницаемые тонкозернистые пески, супеси, слаботрещиноватые породы	0,1 – 0,001
Весьма слабопроницаемые суглинки	< 0,001
Почти непроницаемые глины, плотные мергели и другие монолитные скальные породы	

Более обоснованные значения коэффициента фильтрации дают *расчетные, лабораторные* и *полевые* методы. Первые используют преимущественно для песков и гравелистых пород. Расчетные методы являются приближенными и рекомендуются лишь на первоначальных стадиях исследования. Они связывают коэффициент фильтрации грунта с его гранулометрическим составом, пористостью, степенью однородности и т, д.

Лабораторные методы основаны на изучении скорости движения воды через образец грунта при различных градиентах напора. Все приборы для этих целей могут быть подразделены на два типа: с постоянном напором и с переменным.

Приборы с моделированием постоянства напорного градиента, т.е. установившегося движения (приборы Тима, Тима-Каменского, трубка конструкции СПЕЦГЕО), применимы в основном для грунтов с высокой водопроницаемостью, например для песков. Принцип работы приборов следующий. В цилиндрический сосуд с двумя боковыми пьезометрами $П_1$ и $П_2$ помещают испытуемый грунт (рис. 63). Через него фильтруют воду под напором. Зная площадь поперечного сечения цилиндра A, напорный градиент ($I = \Delta H/L$) и измерив расход профильтровавшейся воды Q, находят коэффициент фильтрации по формуле

$$Q = K_ф IA; \quad K_ф = Q/AI = QL/A(h_1 - h_2),$$

где h_1 и h_2 – показания пьезометров; L – расстояние между точками их присоединения.

Репозиторий БНТУ

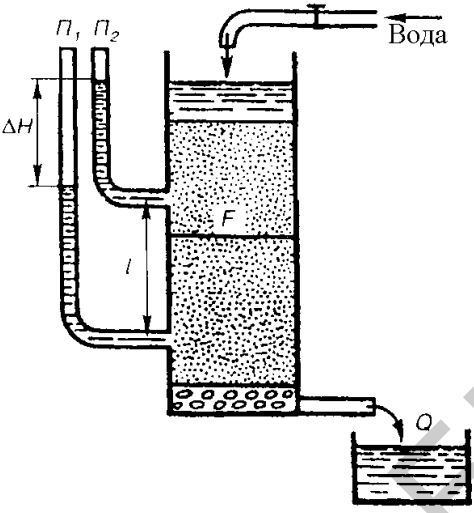

Рис. 63. Схема прибора для определения коэффициента фильтрации в песке

Для суглинков и супесей применяют приборы типа ПВГ (рис. 64), позволяющие определять $K_ф$ образцов с нарушенной и ненарушенной структурой. Для глинистых грунтов наибольшее значение имеет определение $K_ф$ в образцах с ненарушенной структурой, обжатых нагрузкой, приходящейся на основания зданий и сооружений.

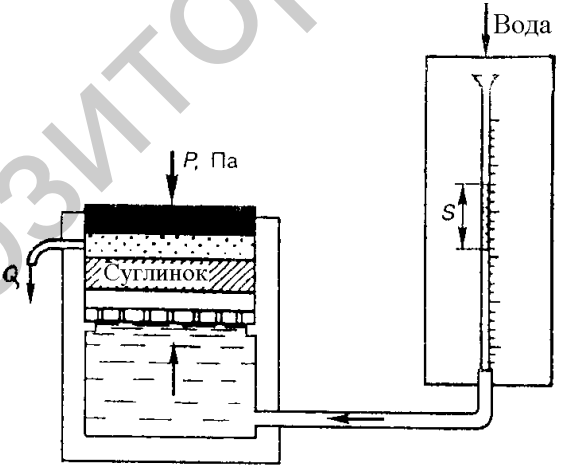

Рис. 64. Схема прибора для определения $K_ф$ в супесях и суглинках

Репозиторий БНТУ

Полевые методы позволяют наиболее достоверно определить коэффициент фильтрации в условиях естественного залегания грунтов и циркуляции подземных вод. Вместе с тем полевые методы более трудоемкие и дорогие в сравнении с лабораторными.

Коэффициент фильтрации водоносных грунтов определяют с помощью откачек воды из скважин, а в случае неводоносных грунтов – методом налива воды в шурфы и нагнетанием воды в скважины. Для гидрогеологических расчетов в условиях установившейся фильтрации достаточно иметь данные о коэффициенте фильтрации.

Расход плоского грунтового потока. Типичным примером *плоского* потока может служить движение подземных вод к траншеям, штольням и другим горизонтальным выработкам. Плоский поток может быть грунтовым (безнапорным) и перемещаться в однородных и неоднородных пластах, при горизонтальных и наклонных водоулорах.

В основу определения расхода грунтового (безнапорного) потока на единицу его ширины в однородных грунтах (рис. 65) на рассматриваемом участке от сечения I до сечения II положен закон фильтрации Дарси.

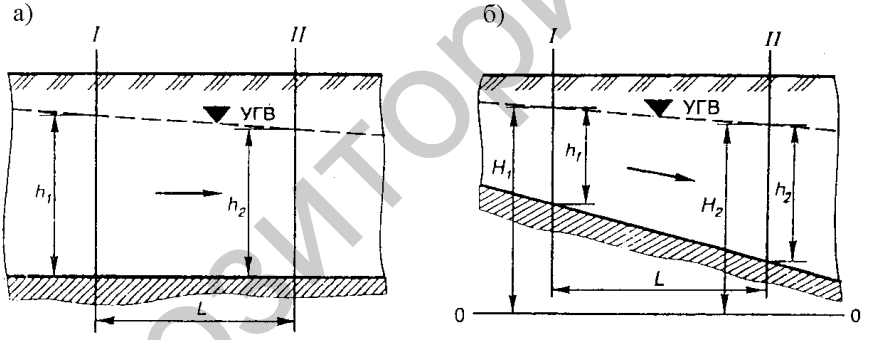

Рис. 65. Схема для расчета плоского потока грунтовых вод с горизонтальным (а) и наклонным (б) водоупорами

При движении подземных вод в неоднородных водоносных пластах, т. е. состоящих из ряда слоев с различной водопроницаемостью, для определения расхода потока подземных вод вводится средний коэффициент фильтрации пласта $\boldsymbol{K_{ф.ср}}$.

Репозиторий БНТУ

Приток грунтовых вод к водозаборным сооружениям. *Водозаборы* — это сооружения, с помощью которых происходит захват (забор) подземных вод для водоснабжения, отвод их с территорий строительства или просто в целях понижения уровней грунтовых вод. Существуют вертикальные, горизонтальные и лучевые типы подземных водозаборных сооружений.

К *вертикальным* водозаборам относят буровые скважины и шахтовые колодцы, к *горизонтальным* – траншеи, галереи, штольни, к *лучевым* – водосборные колодцы с водоприемными лучами-фильтрами. Тип сооружения для забора подземной воды выбирают на основе технико-экономического расчета, исходя из глубины залегания водоносного слоя, его мощности, литологического состава водоносных слоев и намечаемой производительности водозабора.

Водозаборы из одной скважины или колодца называют одиночными, а из нескольких – групповыми. Когда они вскрывают водоносный горизонт на полную его мощность, то являются совершенными, а на неполную – несовершенными,

Отвод грунтовых вод со строительных площадок или снижение их уровней может производиться временно на период производства строительных работ или практически на весь период эксплуатации объекта. Временный отвод воды (или снижение уровня) называют строительным водозабором, а во втором случае – дренажами.

Дупрессионные воронки. При откачке воды вследствие трения воды о частицы грунта происходит воронкообразное понижение уровня. Воронка депрессии имеет в плане форму, близкую к кругу. В вертикальном разрезе воронка ограничивается криволинейными линиями депрессии (рис. 66).

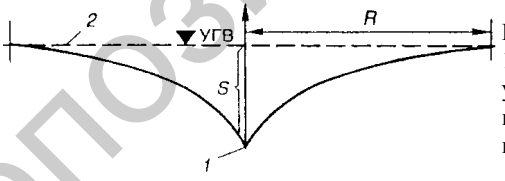

Рис. 66. Депрессионная воронка: 1 – точка откачки; 2 – нормальный уровень; S – понижение уровня в центре воронки; R = радиус воронки

Радиус депрессионной воронки называют *радиусом влияния* ***R***. Значение ***R*** и крутизна кривых депрессий зависят от водопроницаемости грунтов. Хорошо водопроницаемые гравий и песок имеют широкие воронки с большим радиусом влияния, у слабо водопроницае-

Репозиторий БНТУ

мых суглинков более узкие воронки с небольшим значением ***R***.

Величина ***R*** входит во многие расчетные формулы при проектировании водозаборов строительных или дренажных сооружений. Её значение можно определять: 1) по формулам, 2) бурением скважин и 3) по аналогии с действующими водозаборами. Из формул используют расчет Кусакина (для ненапорной воды).

Бурение скважин дает точные значения ***R***, но это работа трудоемкая (рис. 67) Ориентировочные значения ***R на каждые 10 м понижения воды*** приведены в табл. 9 [2], а депрессионные воронки в разных грунтах – на рис. 68.

Таблица 9

Грунты	Радиус влияния R, м
Мелкозернистые пески	50 – 100
Средние пески	100 – 200
Крупные пески	200 – 400
Очень крупные пески, галечники	400 – 600 и более

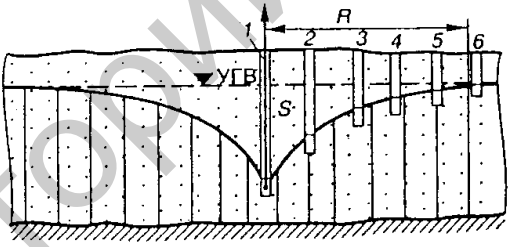

Рис. 67. Определение радиуса влияния откачки ***R*** по буровым скважинам:
1 – скважина для откачки воды; 2 – 6 – скважины для замера уровней воды

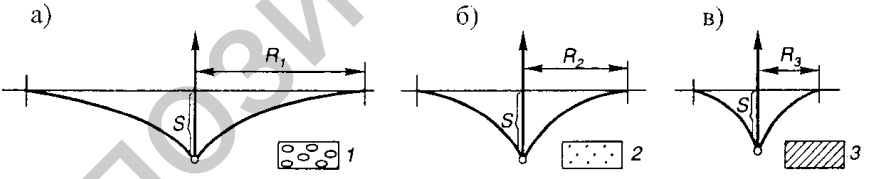

Рис. 68. Депрессионные воронки в разных грунтах:
1 – гравий; 2 – песок; 3 – суглинок

В песках уклоны кривых депрессий составляют 0,02-0,006, а в суглинках 0,1-0,05.

Водозаборные сооружения. Для водоснабжения и водопониже-

Репозиторий БНТУ

ния чаще всего используют колодцы и буровые скважины. Принцип их работы практически одинаковый. Движение подземных вод в период откачки происходит в форме радиального потока.

В зависимости от конфигурации строительные котлованы (карьеры и др.) можно разделить на квадратные и прямоугольные. Первые можно рассматривать как колодцы, т. е. вертикальные выработки определенного диаметра; вторые больше отвечают горизонтальным выработкам типа траншей (канавы). В связи с этим ниже будет рассмотрено два вида водосборов – колодцы и траншеи.

Колодцы и траншеи, дно которых достигает водоупоров, называют *совершенными;* если дно располагается выше волоупора, то *несовершенными* (рис. 69). Уровень воды в колодце до откачки называют *статическим,* а пониженный в процессе откачки уровень – *динамическим.*

Приток воды (дебит) к совершенному колодцу определяют по формуле Дюпюи.

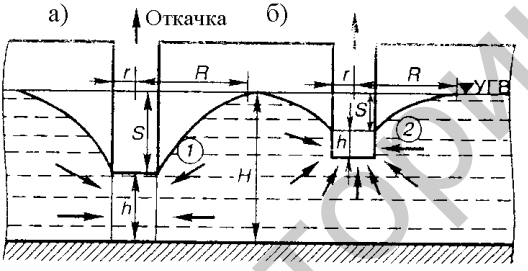

Рис. 69. Водозаборные колодцы совершенного (а) и несовершенного (б) вида

В несовершенный колодец вода поступает через его стенки и дно. Это усложняет расчет притока. Дебит таких колодцев меньше дебита совершенных колодцев. Расход рассчитывают по формуле Дюпюи, в интерпретации Паркера.

Колодец отдает волу в объеме своего максимального дебита лишь в том случае, если соседние колодцы расположены от него на расстоянии не менее двух радиусов влияния.

Поглощающий колодец (скважина, шурф) предназначается для приема сточных вод, для пополнения запасов подземных вод путем закачки в него воды.

Опытами установлено, что поглощать воду могут не только безводные (сухие) водопроницаемые слои, но и водоносные горизонты

Репозиторий БНТУ

(безнапорные). При поглощении воды колодцем вокруг него возникнет воронка поглощения, по форме аналогичная депрессионной, но обращенная выпуклостью вниз (рис. 70).

Дебит поглощающих колодцев можно определить по известным формулам Дюпюи, заменив в них величину понижения уровня на величину повышения уровня воды и поставив перед ними отрицательный знак.

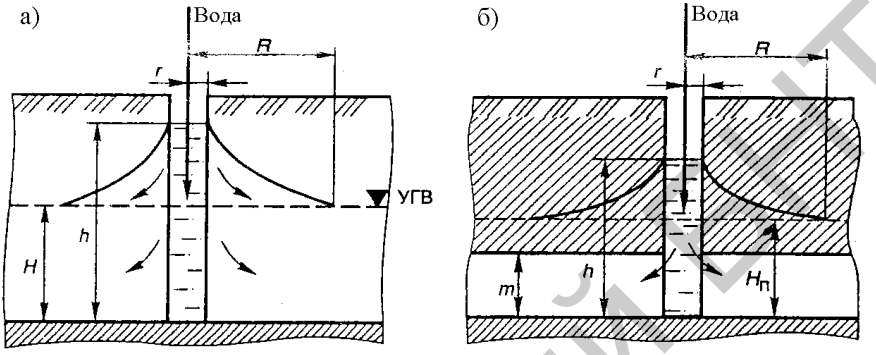

Рис. 70. Поглощающие колодцы для сброса воды:
а – в грунтовые и б – в межпластовые воды; ***R*** – радиус воронки поглощения

Траншеи (канавы) предназначены для понижения уровня грунтовых вод (рис. 71).

Они входят в систему дренажных устройств. При расчете притока воды следует учитывать, что канавы могут быть совершенного и несовершенного вида и приток воды к ним может быть с одной или с двух сторон.

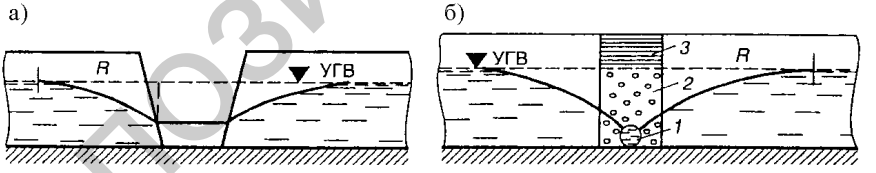

Рис. 71. Горизонтальные дрены:
а – открытая канава; б – закрытая канава; 1 – дренажная труба;
2 – фильтрующий материал; 3 – слой глинистого грунта для предохранения фильтрующего материала от атмосферной воды

Дренажные траншеи могут быть *открытые* и *закрытые*. Открытые более мелкие (менее 2,5 м) траншеи чаще называют канавами.

Репозиторий БНТУ

Закрытые имеют большую глубину и чаще используются на городских территориях. Вода сбрасывается по уложенным в траншеях трубам (рис. 72).

Дренажные канавы будут эффективно осушать территорию лишь в том случае, если расстояние между канавами будет меньше ***2R***., т.е. при условии пересечения кривых депрессионных воронок.

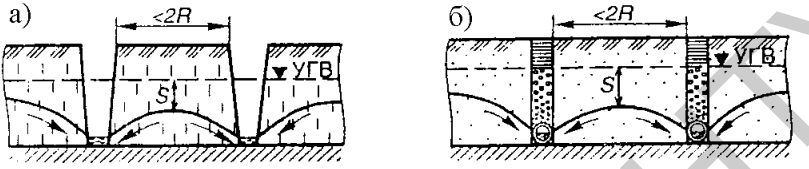

Рис. 72. Дренажные траншеи: а – открытые; б – закрытые

Взаимодействие водозаборов. Эффективность работы водозаборов зависит от расстояния между ними. Только в тех случаях, когда расстояние между водозаборными колодцами (скважинами) будет больше ***2R***, каждый из них может давать воду на уровне своего дебита. Иначе должно обстоятъ дело при понижении уровня грунтовых вод. Расстояния между точками водопонижения (траншей, скважин и т. д.) не может превышать ***2R***. Депрессионные воронки должны пересекаться. Это обеспечивает понижение уровней на всей строительной площадке.

Водопонижеиие уровней грунтовых вод на строительных площадях. Когда грунтовые воды осложняют строительство и будут мешать в дальнейшем, принимают решение о понижении их уровня различными способами. Это может быть достигнуто такими типами дренажей:

- самотеком поды;
- принудительной откачкой открытым или закрытым способом;
- отводом воды по горизонтали или вертикали;
- откачкой воды дренажами, которые обеспечивают сохранение уровня постоянно в пониженном положении.

Самотек грунтовой воды всецело зависит от рельефа местности. Водоносный слой может быть сверху вниз по склону прорезан откосной дренажной траншеей. Свободный выход воды приводит к снижению уровня грунтовой воды в пределах депрессионных понижений. Такой свободный выход воды осуществляется также с

Репозиторий БНТУ

помощью подземных галерей, которые закладываются в глубину склона и перерезают водоносные слои (рис. 73). Подземные галереи чаше всего применяют на оползневых склонах с целью их осушения и предотвращения движения грунтовых масс.

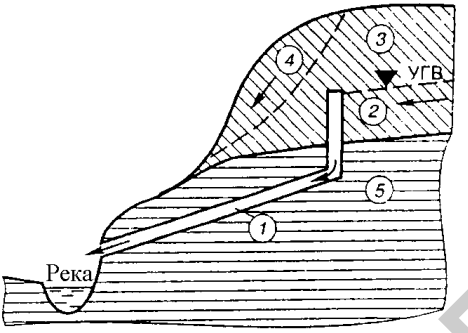

Рис. 73. Подземная водосборная галерея:
1 – галерея, 2 – поток грунтовой воды, 3 – водоносный грунт;
4 – возможное оползневое тело; 5 – водоупор

На рис. 74 показана открытая откачка воды непосредственно из строительного котлована насосом, который установлен за его пределами. На рис. 75 показан способ осушения строительного котлована иглофильтровыми установками (ЛИУ), которые состоят из системы иглофильтров (тонких металлических труб длиной 7 – 9 м с фильтром на их нижних концах). Трубы устанавливают вокруг котлованов или вдоль траншей и присоединяют к всасывающему коллектору.

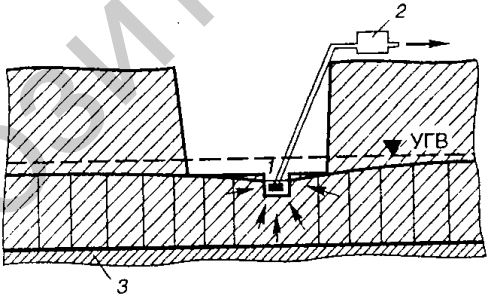

Рис. 74. Открытый водоотлив из строительного котлована:
1 – приямок (зумпф) с фильтром; 2 – насос с водоотводящим лотком; 3 – водоупор

Репозиторий БНТУ

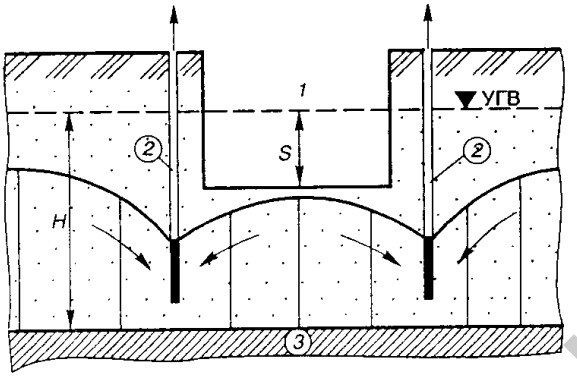

Рис. 75. Осушение строительного котлована иглофильтрами:
1 – строительный котлован; 2 – иглофильтры; 3 – водоупор; H – уровень подземной воды; S – понижение уровня воды

С помощью ЛИУ понижают уровень подземных воя на 4,5 м (одним ярусом) в песчаных грунтах с коэффициентом фильтрации от 1 – 2 до 40 – 50 м/сут (см. рис. 75). При глубоком водононижении применяют два или три яруса установок. Для осушения мелких и пылеватых песков или супесей, плохо отдающих воду, с $\boldsymbol{K_ф}$ = 0,01 – 1,0 м/сут, применяют эжекторные иглофильтры. С их помощью в водонасыщенном грунте создается вакуум, улучшается водоотдача и эффект водопонижения усиливается. Эжекторные иглофильтры и другие установки вакуумного водопонижения широко применяют для ликвидации аварий на водопроводно-канализационной сети городов.

Отвод воды из района строительного котлована может осуществляться как по горизонтали, так и по вертикали. Отвод воды по горизонтали производится с помощью дренажных траншей, а по вертикали – колодцев и буровых скважин.

Горизонтальные дренажные траншеи заглубляются в водоносные слои и бывают *открытыми* и *закрытыми.* Последнее типично городским территориям (см. рис. 72). Снижение уровней воды по вертикали обеспечивается либо откачкой воды насосами вверх, как это было показано на примере иглофильтров, так и в глубину грунтовых вод, но самотеком. Этот способ может быть эффективным только при определенном геологическом строении участка, когда под первым от поверхности водоупорном слоем, на котором располагается грунтовая вода, залегает слой песка.

Репозиторий БНТУ

Недостатком всех закрытых дренажей является сравнительно непродолжительный срок работы вследствие загрязнения (заиления) фильтрующих засыпок. В отдельных случаях целесообразно создать комбинированные типы водопонизителей, соединяя вместе отвод воды по горизонтали и вертикали.

Системы дренажей. Под этим понятием имеется в виду расположение дренажных устройств в плане по отношению к зданиям и сооружениям. На защищаемых от подтопления территориях применяют следующие основные схемы защитных дренажей: однолинейную, двухлинейную, многолинейную, кольцевую и комбинированную, Во всех этих дренажах вода отводится за счет самотека.

Линейная схема в виде головного дренажа используется для перехвата потока грунтовой воды выше объекта. Поток перерезается полностью или частично, но так, чтобы уровень воды опустился на необходимую глубину. Такой дренаж обеспечивает надежное понижение уровня грунтовых вод, если водоупорный слой залегает не глубже 4 – 5 м. На рис. 76 показано линейное расположение дренажной траншеи в плане по отношению к зданию, и разрез, на котором виден принцип работы.

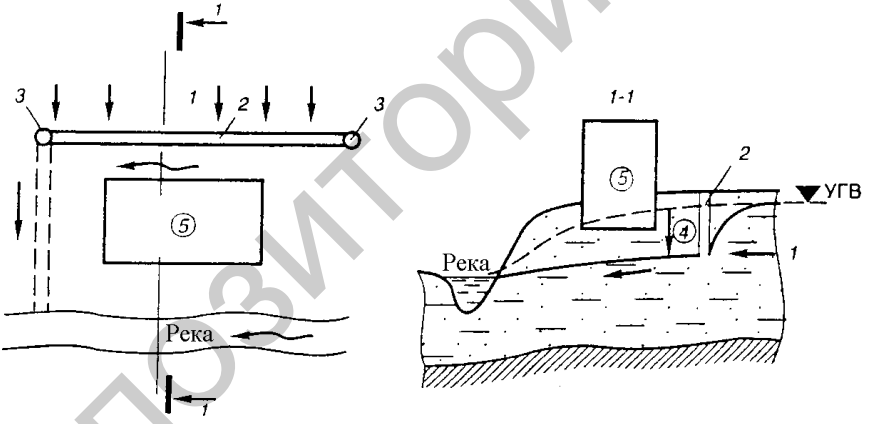

Рис. 76. Головной дренаж (план и разрез участка):
1 – направление потока воды; 2 – головная дрена; 3 – смотровые колодцы;
4 – пониженный уровень воды; 5 – здания

Береговой дренаж устраивается в различных схемах, причем чаще всего при устройстве водохранилищ, либо водоемы имеют значи-

Репозиторий БНТУ

тельные подъемы уровней воды. Береговой дренаж в виде однолинейной схемы — это одиночная протяженная дрена, расположенная вдоль одной из границ защищаемой территории. Головная дрена перехватывает поток грунтовой коды от водораздела и располагается вдоль верхней границы защищаемой территории. Береговая дрена (рис. 77) устраивается у нижней границы защищаемой территории вдоль берега водоема и служит для перехвата грунтовых вод со стороны водораздела. Воды со стороны берега может перехватывать и головная дрена. Береговой дренаж в виде двухлинейной схемы обеспечивается двумя линейными дренами. Первая из двух дрен выполняет роль береговой, а вторая – головной дрены (рис. 78).

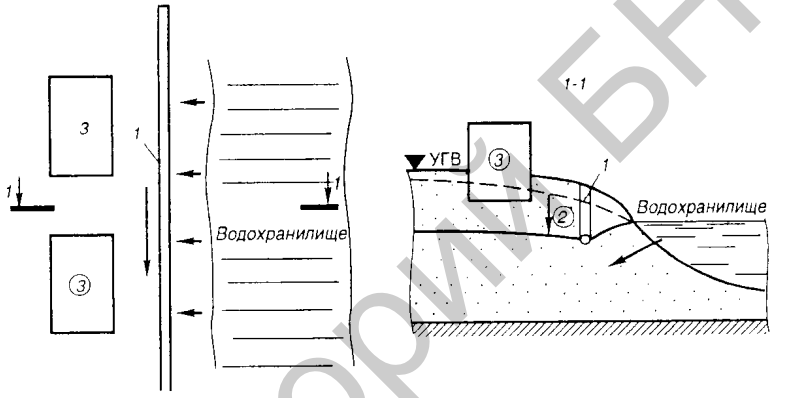

Рис. 77. Береговой дренаж (план и разрез участка):
1 – береговая дрена; 2 – пониженный уровень воды; 3 – здание

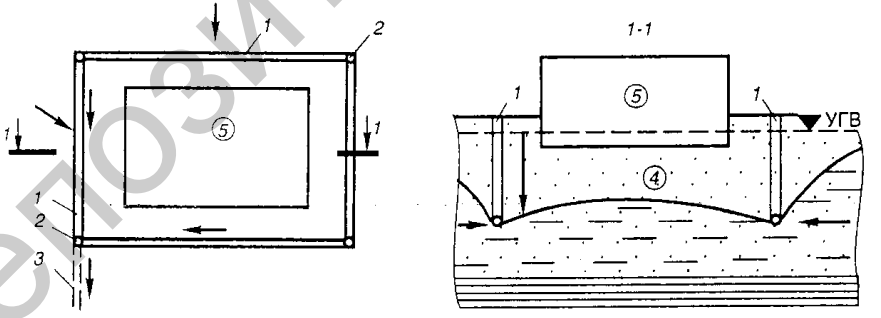

Рис. 78. Кольцевой дренаж (план и разрез участка):
1 – дрены; 2 – смотровые колодцы; 3 – сбросная часть дренажа;
4 – пониженный уровень воды; 5 – здания

Репозиторий БНТУ

Кольцевой дренаж защищает от подтопления подвальные помещения отдельных зданий или небольшие участки, а также используется для борьбы с подтоплением отдельных сооружений с глубокими фундаментами путем перехвата воды по контуру участка, предотвращения тем самым всплытия подземных емкостей (резервуаров) при их опорожнении. Дренаж выполняют в виде полного кольца (см. рис. 78), либо полукольца П- или Г-образной формы. Сброс дренажных вод осуществляется также самотеком при небольшом заглублении или насосной станцией в случае значительной глубины дренажа.

Систематический дренаж в виде многолинейной схемы применяют главным образом при незначительной мощности водоносного слоя, но при значительном инфильтрационном питании по всей защищаемой территории обычного равнинного типа. Целью является равномерное и длительное осушение (понижение уровня) значительных территорий (часть территории города, заводские площадки и т. д.). В зависимости от геологического строения территории этот дренаж может быть горизонтальным или вертикальным (рис. 79 и 80).

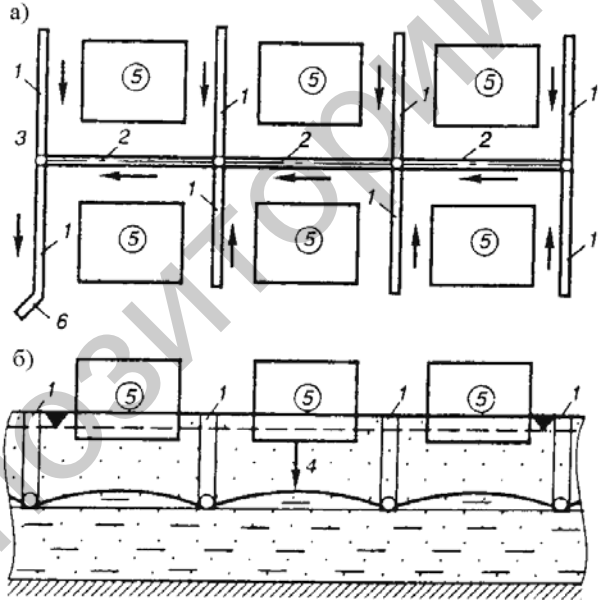

Рис. 79. Систематический дренаж горизонтального типа:
а – план; б – разрез; 1 – дрены; 2 – дренажный коллектор; 3 – смотровой колодец;
4 – пониженный уровень; 5 – кварталы города; 6 – сброс воды

Репозиторий БНТУ

Пластовые дренажи являются точечной системой и служат для защиты отдельных зданий и дорог от возможного подтопления при подъеме уровня грунтовых вод. По контуру сооружений укладывается дренажный слой из песка (или гравия) с дренажной трубой (рис. 81).

Комбинированная схема дренажа включает линейные дренажи для всей территории и системы в виде кольцевого дренажа у значительно заглубленного здания.

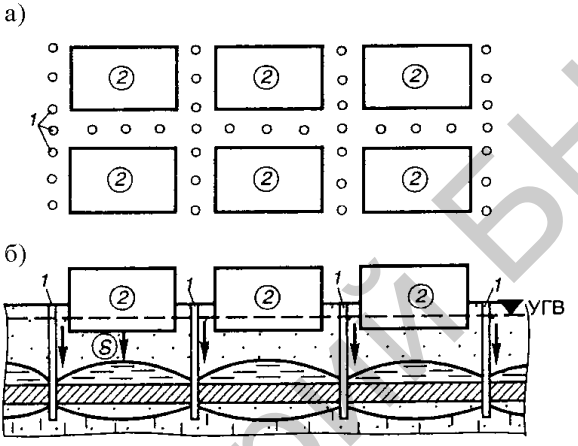

Рис. 80. Систематический дренаж вертикального тала:
а – план; б – разрез; 1 – поглощающие скважины; 2 – кварталы города;
5 – пониженный уровень

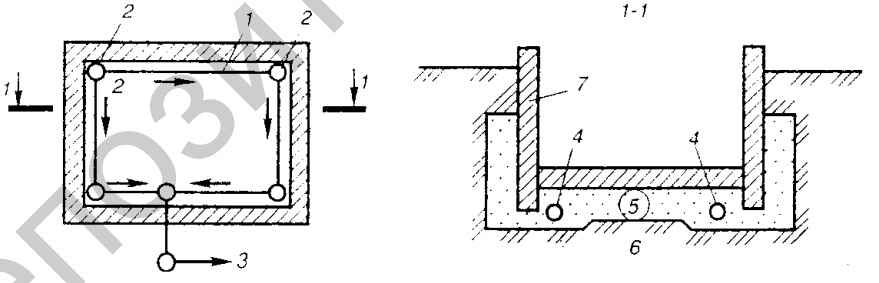

Рис. 81. Пластовый дренаж:
1 – дрены; 2 – смотровые колодцы, 3 – сброс воды; 4 – дренажные трубы;
5 – крупный песок; 6 – грунт основания; 7 – фундамент здания

Репозиторий БНТУ

5.6. Режим и запасы подземных вод

Режим подземнх вод – это изменение во времени их уровня, химического состава, температуры и расхода. В естественных условиях для подземных вод характерен ненарушенный (естественный) режим, который формируется в основном под влиянием метеорологических, гидрологических и геологических факторов.

Метеорологические факторы (осадки, испарение, температура воздуха, атмосферное давление) – основные в формировании режима грунтовых вод. Они вызывают сезонные и годовые (многолетние) колебания уровня, а также изменения химизма, температуры и расхода грунтовых вод.

Сезонные колебания уровня обусловлены неравномерностью выпадения осадков и изменениями температуры воздуха в течение года. Наибольшие колебания уровней приходятся на периоды весеннего снеготаяния (весенний максимум) и осенних дождей (осенний максимум). Самый низкий уровень в годовом цикле отмечается в конце лета – в начале осени и в конце зимы (рис. 82). Разность между наивысшим и наинизшим горизонтами подземных вод называют ***максимальной амплитудой колебания уровня.***

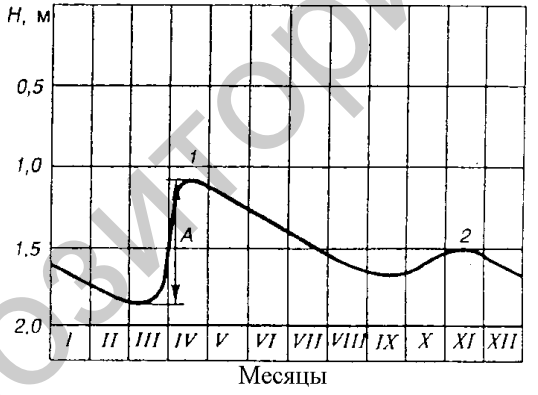

Рис. 82. Схема годового цикла сезонных колебаний уровня грунтовых вод:
1 – весенний максимум; 2 – осенний максимум;
А – максимальная амплитуда колебаний уровня

Уровень грунтовых вод колеблется не только по сезонам, но и в многолетнем цикле. Амплитуды многолетних колебаний могут быть больше сезонных и достигать до 8 м и более. Изучение много-

Репозиторий БНТУ

летнего режима подземных вод необходимо для прогноза положения уровня на весь период длительной эксплуатации сооружений.

Гидрологический режим рек влияет на положение уровней подземных вод и их химизм в полосе шириной от 0,2 – 0,5 км в песчано-глинистых отложениях и до 2 – 6 км в хорошо проницаемых грунтах. Колебания уровня подземных вод в речной долине с некоторым отставанием отражают колебания уровня реки.

Режим подземных вод и производственная деятельность человека. Инженерно-строительная деятельность человека изменяет естественные режимообразующие факторы и способствует возникновению новых, формируя искусственный (или нарушенный) режим подземных вод. Она может проявляться в повышении и понижении уровня подземных вод, в изменении их химического состава, затрагивая все подземные воды, включая и глубокозалегающие. Уровни подземных вод могут подниматься на 10 – 15 м при строительстве водохранилищ и других искусственных водоемов, орошении и утечках воды из подземных водонесущих коммуникаций, промышленных бассейнов, водохранилищ.

На городских территориях и в районе промышленных объектов необходимо постоянно вести наблюдения за положением уровня подземных вод с помощью буровых скважин различными способами (рис. 83).

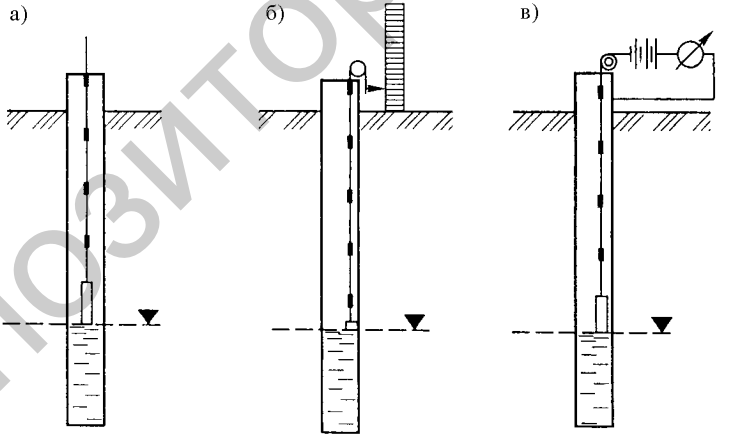

Рис. 83. Способы измерения уровня грунтовых вод в наблюдательных скважинах:
а – мерным тросом с хлопушкой; б – стационарным поплавком;
в – электроуровнемером

Репозиторий БНТУ

Понижение уровня подземных вод вызывается длительными откачками воды для водоснабжения, осушением заболоченных земель, строительным водопонижением, дренажем и т. д. Интенсификация отбора воды из недр земли увеличивает снижение уровня подземных вод. Искусственные факторы интенсивно воздействуют и на качество подземных вод. В первую очередь это отражается на питьевом водоснабжении.

Режим подземных вод в районе водозаборов динамичен. Изменение положения уровня влечет за собой изменение физических свойств, химического и бактериологического состава подземных вод, нередко приводя к сильному ухудшению их качества.

Баланс подземных вод. Под балансом подземных вод понимают соотношение между приходом и расходом подземных вод на данном участке за определенное время.

Режим и баланс подземных вод взаимосвязаны. С помощью баланса характеризуют водообеспеченность района и возможности ежегодного пополнения запасов подземных вод, прогнозируют изменение их уровней, изучают причины подтопления территорий.

Запасы подземных вод — количество (объем) свободной воды в водоносных слоях. Оценка запасов имеет важное значение для водоснабжения. Ни один водозабор не может быть построен и пущен в эксплуатацию без подсчета запасов подземных вод.. Эти запасы подразделяют на естественные и эксплуатационные.

Естественные запасы подземных вод — это их объем в водоносных пластах в естественных условиях (в статическом состоянии или в движении).

Эксплуатационные запасы подземных вод формируется при эксплуатации водозаборов. При этом существенную роль могут играть и искусственные запасы. Они создаются путем инфильтрации воды с поверхности земли при устройстве искусственных сооружений (инфильтрационные бассейны, оросительные системы, поглощающие скважины и т. п.).

5.7. Охрана подземных вод

Производственная и другая деятельность человека оказывают большое влияние на окружающую среду, в том числе на подземные воды. В связи с этим возникло новое направление в гидрогеологии –

Репозиторий БНТУ

техногенная гидрогеология. Важнейшими задачами в этом направлении является охрана подземных вод от истощения и загрязнения.

Под *истощением* запасов подземных вод следует понимать их сработку без восполнения. Признаком истощения является прогрессирующее снижение динамических уровней эксплуатируемого водоносного горизонта, часто при постоянном расходе.

При длительной эксплуатации водозаборов подземных вод вокруг них образуются огромные депрессионные воронки с наибольшим понижением в центре. Истощению подземных под способствует также неконтролируемый бесхозяйственный самоизлив артезианских вод из скважин, достигающий многих тысяч кубических метров в сутки.

Для борьбы с истощением пресных подземных вод предусматривают:

• регулирование режима водозабора подземных вол; :

• более рациональное размещение водозаборов по площади;

• введение кранового режима эксплуатации самоизливавшихся скважин.

В последние годы все чаще применяют искусственное пополнение запасов воды. Этот метод даже при интенсивном отборе подземных вод позволит более рационально осуществлять охрану окружающей среды. Под *загрязнением* подземной воды понимают превышение допустимых концентраций отдельных компонентов и общей минерализации воды, что делают ее непригодной для использования. Основными источниками загрязнения подземных вод являются бассейны бытовых и промышленных стоков, участки складирования отходов, загрязненные водоемы, неисправная канализационная сеть, избыточное применение удобрений и ядохимикатов.

К естественным источникам загрязнения относят сильно минерализованные подземные воды, которые могут внедряться в продуктивный пресный водоносный горизонт при эксплуатации водозаборных сооружений.

Более всего подвержены загрязнению грунтовые воды и в особенности верховодка, так как они не защищены сверху толщей водоупорных грунтов от проникновения загрязняющих веществ. Артезианские воды загрязняются в значительно меньшей мере, преимущественно при сбросе сточных вод через систему поглощающих скважин.

Наиболее часто при эксплуатации сооружений водоснабжения и

Репозиторий БНТУ

канализации встречается химическое и бактериальное загрязнение подземных вод. Реже наблюдается радиоактивное, механическое и тепловое загрязнение.

Химическое загрязнение — наиболее распространенное, стойкое и далеко проникающее. Оно может быть органическим (фенолы, нафтеновые кислоты, ядохимикаты и др.) и неорганическим (соли, кислоты, щелочи), токсичным (мышьяк, соли цинка, ртути, свинца и др.) и нетоксичным. Вредные химические вещества при фильтрации в пласте сорбируются частицами грунтов, окисляются и восстанавливаются, выпадают в осадок. Однако полного самоочищения загрязненных вод не происходит. Очаг химического загрязнения до 10 км и более достигает в сильно проницаемых грунтах и при значительных уклонах подземного потока.

Бактериальное загрязнение выражается в появлении в подземных водах патогенных бактерий. Оно носит временный характер, а интенсивность зависит от начального загрязнения, водопроницаемости грунтов и времени выживания бактерий.

Весьма опасно *радиоактивное загрязнение* подземных вод, даже при очень малых концентрациях радиоактивных веществ. Наиболее вредны «долгоживущие» радиоактивные элементы (сгронций-90, уран, радий-226, цезий и др.), способные быстро передвигаться в подземных водах. Эти элементы могут проникать в подземные воды и при выпадении на поверхности земли радиоактивных продуктов и отходов.

Механическое загрязнение ведет к попаданию в подземные воды механических примесей, содержащихся в сточных водах (песок. шлак и др.), по крупным пустотам.

Тепловое загрязнение связано с повышением температуры подземных вод в результате их смешивания с более нагретыми поверхностными или технологическими сточными водами, при их закачивании через поглощающие скважины,

Меры борьбы с загрязнением подземных вод включают очистку сточных вод, создание безотходных производств. экранирование чаш бассейнов, перехват профильтровавшихся стоков дренажем и др.

Водозаборы должны располагаться выше по потоку подземных вод относительно участков загрязнения. Их не следует размещать близко к

Репозиторий БНТУ

реке, а также вблизи промышленных предприятий и сельскохозяйственных территорий со значительными утечками сточных вод.

Важнейшими мерами предупреждения загрязнения вод в районе водозаборов является устройство вокруг них ***зон санитарной охраны***. К ним относятся территории с особым режимом эксплуатации хозяйственно-питьевого водоснабжения, исключающие загрязнение и ухудшение качества подземных вод. Состоят они из двух поясов.

Мероприятия по предупреждению загрязнения подземных вод должны быть распространены на весь эксплуатируемый водоносный горизонт. Проекты зон санитарной охраны согласовываются с органами санитарного надзора и утверждаются соответствующими организациями.

6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ

6.1. Инженерно-геологические исследования для строительства

Инженерно-геологические изыскания осуществляют специализированные изыскательские организации, которые в Беларуси руководствуются СНБ 1.02.01-96 «Инженерные изыскания для строительства». Данный документ определяет порядок, состав, объем и виды выполняемых изыскательских работ для различных этапов проектирования, строительства и эксплуатации объектов в различных геологических обстановках, состав документации по результатам изысканий, порядок их предоставления и приемки, а также ответственность исполнителей и заказчиков (проектировщиков).

Цель инженерно-геологических исследований – получить необходимые для проектирования объекта инженерно-геологические материалы.

Задача исследований – изучение геологического строения, геоморфологии, гидрогеологических условий, природных геологических и инженерно-геологических процессов, свойств грунтов и прогноз их изменений при строительстве и эксплуатации различных сооружений.

Техническое задание на инженерно-геологические изыскания выдают специалисты, занимающиеся проектированием объекта, которые должны владеть знаниями по инженерной геологии. Состав

Репозиторий БНТУ

исследований определяется программой, составленной в соответствии с техническим заданием и согласованной с проектной организацией. В состав работ входят: сбор, изучение и анализ имеющихся геологических материалов по району строительства; инженерно-геологическая и гидрогеологическая съемка; буровые и горнопроходческие разведочные работы; геофизические исследования; опытные полевые работы; стационарные наблюдения; лабораторные исследования грунтов и подземных вод; камеральная обработка и составление отчета. Результаты изысканий в виде инженерно-геологического отчета передаются проектной организации.

Во всех случаях исследования начинают со сбора имеющихся архивных материалов о природных условиях района (геологическом строении, гидрогеологических условиях, климате, гидрологии, почвенном покрове, топографии), а также об имеющемся опыте строительства и эксплуатации аналогичных сооружений в местных природных условиях. Тщательный сбор и анализ имеющихся материалов с рекогносцировкой района позволяет составить программу исследований и сократить их объем.

После проведения необходимых подготовительных работ изыскательский отряд или партия выезжает на место будущего строительства и приступает к полевым работам (съемка, буровые, геофизические и другие).

Инженерно-геологические работы обычно выполняют в три этапа:

1) подготовительный; 2*)* полевой; 3) камеральный.

Подготовительные работы включают изучение района по архивным, фондовым и литературным материалам. Ведется подготовка к полевым работам.

В *полевой* период производятся работы:

- инженерно-геологическая съемка;
- разведочные работы и геофизические исследования;
- опытные полевые исследования грунтов;
- изучение подземных вод;
- анализ опыта местного строительства и т. д.

В *камеральный* период обрабатывают полевые материалы и результаты лабораторных анализов, составляют инженерно-геологический отчет с соответствующими графическими приложениями в виде карт, разрезов и т. д.

Репозиторий БНТУ

Окончательная обработка полевых материалов и результатов лабораторных анализов завершается составлением инженерно-геологического и гидрогеологического отчетов.

Объем инженерно-геологических исследований различен и обусловлен стадией проектирования (предварительные или детальные исследования), геологической изученностью района (изученный, малоизученный, неизученный), сложностью геологического строения, особенностями свойств грунтов (требующие и не требующие специальных работ), конструктивными особенностями сооружений и их капитальностью.

Объем проводимых работ зависит от сложности инженерно-геологических условий, которые подразделяют на три категории:

1 *категория* — участки с простой геологией; слои залегают почти горизонтально; несущая способность грунтов довольно велика; грунтовые воды под фундаментами залегают ниже активной зоны; мощность насыпных грунтов не превышает 2 м;

II категория — участки средней геологической сложности; толща сложена из 4 — 5 литологически различных слоев в виде линз или складок; грунтовые воды залегают в пределах активной зоны; мощность насыпных грунтов составляет 3 – 4 м;

III категория — участки геологически сложные; расположены в пределах пересеченного рельефа; толща многослойная; залегание слоев линзовидное или несогласованное, складчатое; нарушенное; грунтовые воды находятся выше подошвы фундаментов; активная зона содержит грунты типа ила, торфа; мощность насыпных грунтов превышает 4 м; на участке развиты природные геологические явления.

Основной объем инженерно-геологических работ выполняют до проектирования. Они обеспечивают получение необходимых данных о геологии местности, свойствах грунтов и формулировку инженерных выводов, на базе которых устанавливается глубина заложения фундаментов и величина допускаемых давлений на грунт, прогнозируются устойчивость сооружения, величины ожидаемых осадков и т. д.

В процессе строительства при проходке котлованов сверяют геологические данные с материалами инженерно-геологических исследований до проектирования. В случае расхождений назначают дополнительные инженерно-геологические работы.

При эксплуатации зданий и сооружений во многих случаях про-

Репозиторий БНТУ

водят наблюдения за характером и величиной осадок фундаментов, режимом грунтовых вод и рек, размывом берегов, устойчивостью склонов и т. д. К этому периоду относят работы, получившие название инженерно-геологической экспертизы, для установления причин возникновения деформаций зданий и сооружений.

Инженерно-геологический отчет является итогом изысканий. Он передается проектной организации и на его основе выполняется необходимая проектная документация для строительства. Отчет состоит из введения, общей и специальной частей, заключения и приложений. Во введении указывают место проведения изыскательских работ и время года, исполнители и цель работ. В общей части и отдельных главах дается описание:

- рельефа, климата, заселенности, растительности;
- геологии с приложением геологических карт и разрезов;
- карт строительных материалов для выполнения строительных работ.

В специальных главах дается характеристика грунтов, их нормативные и расчетные свойства, пригодность для строительства объекта. Подземные воды оцениваются как источники водоснабжения при строительстве и эксплуатации объекта и как они могут сказаться при строительстве. Излагаются рекомендации по строительному водопонижению и устройству дренажей на период эксплуатации объекта.

В заключительной части отчета дается общая инженерно-геологическая оценка участка по пригодности для строительства, указываются наиболее приемлемые пути освоения территории, заостряется внимание на вопросах охраны окружающей среды.

Отчет обязательно должен иметь приложение с графическими материалами (карты, разрезы, колонки скважин и др.), таблицами свойств грунтов, химических анализов воды, каталогом геологических выработок и др.

В последнее время значительное место в строительной практике занимают реконструкции, перепрофилирования и реставрации зданий и сооружений, как правило, в пределах существующей городской застройки. Исходя из этого инженеры-геологи должны оценить степень изменений в геологической среде за период эксплуатации зданий и сооружений, чтобы можно было выработать рекомендации по дальнейшим проектным решениям в связи изменившейся геологической обстановкой.

Репозиторий БНТУ

Инженерно-геологические заключения составляются трех видов: 1) об условиях строительства объекта; 2) о причинах деформаций зданий и сооружений, 3) экспертные.

Заключение о причинах деформаций зданий и сооружений могут содержать материалы ранее проведенных исследований, осмотра местности и сооружения. При необходимости дополнительно выполняют небольшой объем исследований. Исходя из вскрытых причин деформаций намечаются пути их устранения.

Инженерно-геологическая экспертиза устанавливает:

- правильность приемов исследований;
- достаточность объемов работ;
- правомерность выводов и рекомендаций;
- причины аварий и т. д.

По объему работы экспертиза бывает *кратковременная* и *длительная.* В первом случае выводы излагаются в виде заключения, а во втором – в заключении содержатся конкретные рекомендации, обоснования и доказательства целесообразности предлагаемых инженерно-технических мероприятий.

Инженерно-геологическая съемка представляет собой комплексное изучение геологии, гидрогеологии, геоморфологии и других естественно исторических условий района строительства, что позволяет оценить эту территорию для застройки.

Масштаб съемки определяется детальностью инженерно-геологических исследований и колеблется от 1:200 000 до 1:10 000 и крупнее. Основой для съемки служит геологическая карта данной территории.

Геоморфологические исследования уточняют характер, возраст и происхождение рельефа. При геологических работах определяют условия залегания, мощность и возраст грунтов, изучают естественные обнажения их слоев на склонах. Характерные обнажения зарисовывают и фотографируют. Выработки документируют и отбирают из них пробы грунтов для лабораторных исследований. Выявляют гидрогеологические условия, глубины залегания подземных вод, их режим и химический состав, геологические явления и процессы, изучают опыт строительства на данной территории, определяют физико-механические свойства грунтов полевыми методами.

На основе полученных данных составляют инженерно-геологическую карту района строительства, позволяющую выделить при-

Репозиторий БНТУ

годные под строительство участки.

Аэрокосмические методы. Для ускорения сроков съемочных работ и повышения их качества используют аэрометоды, которые эффективны в районах, труднодоступных для наземного изучения (заболоченные низменности и т. д.)..

Буровые и горнопроходческие разведочные работы являются существенной частью полевых исследований. С помощью буровых скважин и горных выработок (шурфов, штолен и др., рис. 84) выясняют геологическое строение и гидрогеологические условия строительной площадки на необходимую глубину, отбирают пробы грунтов и подземных вод, проводят опытные работы и стационарные наблюдения.

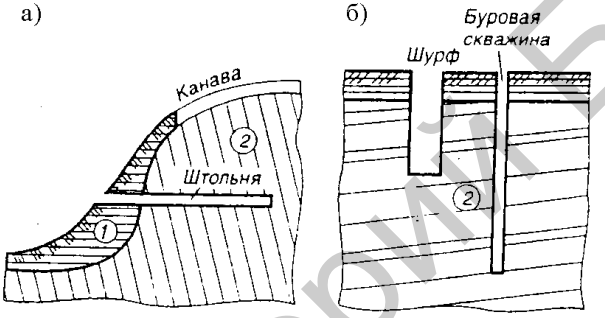

Рис. 84. Разведочные выработки:
а – горизонтальные (канавы, штольни); б – вертикальные (шурф, буровая скважина); 1 – наносы; 2 – коренные грунты

Расчистки, *канавы* и *штольни* относят к горизонтальным выработкам. Их применяют на участках, сложенных крутопадающими слоями. При слабонаклонном и горизонтальном залегании слоев следует проходить шурфы и буровые скважины

Шурфы (при круглом сечении – дудки) позволяют легче производить отбор любых по размеру образцов грунтов с сохранением их структуры и природной влажности в условиях их залегания по всем четырем стенкам и дну. При этом делают зарисовку и составляют развертку шурфа, что позволяет более точно определить толщину слоев и характер их залегания в пространстве.

Буровые скважины представляют собой круглые вертикальные или наклонные выработки малого диаметра. В буровых скважинах

Репозиторий БНТУ

различают *устье*, *стенки* и *забой*.

Бурение применяется в основном для исследования горизонтальных или пологопадающих пластов. Извлекая образцы грунтов из скважины по мере ее проходки, выясняют состав, свойства, состояние грунтов, условия их залегания,. В зависимости от способа бурения и состава грунтов образцы бывают ненарушенной или нарушенной структуры (керны). Преимущества бурения: скорость проходки скважин с достижением больших глубин, высокая механизация работ, мобильность буровых установок (рис. 85).

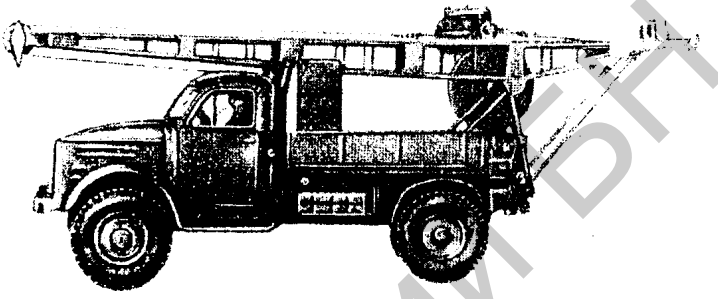

Рис. 85. Буровая установка на автомобиле

Для крепления скважин в слабых и водонасыщенных грунтах от обвалов и оплывания стенок применяют стальные обсадные трубы. По данным бурения скважины оформляется геолого-литологическая колонка в масштабе 1:100 – 1:500 с представлением толщины залегания слоев, литологического типа, глубины залегания уровня грунтовых вод, мест отбора образцов грунта, их возраста в индексах (рис. 86). Скважины после проходки засыпают.

Репозиторий БНТУ

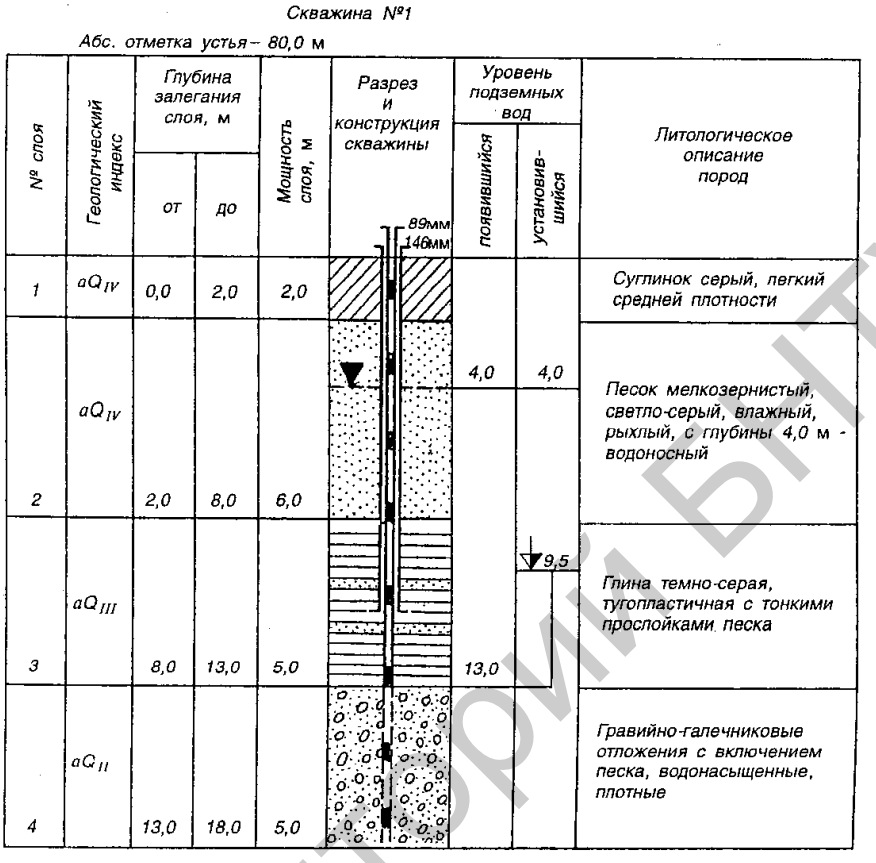

Рис. 86. Геолого-литологическая колонка буровой скважины

Отбор образцов грунтов и проб воды для последующих лабораторных анализов производят из обнажений, буровых скважин, шурфов и других выработок. Пробы отбирают послойно на всю глубину выработки не реже чем через каждые 0,5 – 1,0 м. Наиболее детально опробуется несущий слой основания сооружения. Из шурфов отбирают монолиты в форме кубов с сохранением их структуры, что особенно важно для связных грунтов, в которых кроме структуры необходимо сохранить природную влажность. Из скважин грунтоносом отбирают цилиндрические монолиты и обматывают слоем марли, пропитанной парафиногудронной смесью, по-

Репозиторий БГТУ

догретой до 60 – 65°С. Монолиты предохраняют от сотрясения и промерзания и хранят не более 1,5 месяцев.

Образцы нарушенной структуры отбирают обычно из рыхлых грунтов.

Пробы подземной воды берут в емкости (с тщательным их закупориванием) из каждого водоносного горизонта в объеме от 0,5 до 2 л и количестве, зависящем от вида химического анализа (полный, сокращенный) и степени минерализации воды.

Геофизические методы исследования (электрометрия, радиометрия или георадар и сейсмометрия обычно сопутствуют разведочным работам и в ряде случаев ***позволяют значительно сократить объем шурфования и бурения***. С их помощью можно изучать физические и химические свойства грунтов и подземных вод, условия залегания, движение подземных вод, инженерно-геологические явления и процессы. Сейсмические методы основаны на различии скоростей распространения упругих колебаний в различных средах. Электроразведка основана на искусственно создаваемом в грунтах электрическом поле. Каждый сухой и насыщенный водой грунт имеет свое удельное электрическое сопротивление. Точность результатов электроразведки для данной площадки зависит от разницы сопротивлений смежных слоев. Наибольшее применение нашли электропрофилирование и вертикальное электрическое зондирование **(ВЭЗ)**.

При *электропрофилировании* на исследуемом участке забивают в грунт серию электродов в створах и на каждом измеряют сопротивление грунтов (рис. 87).

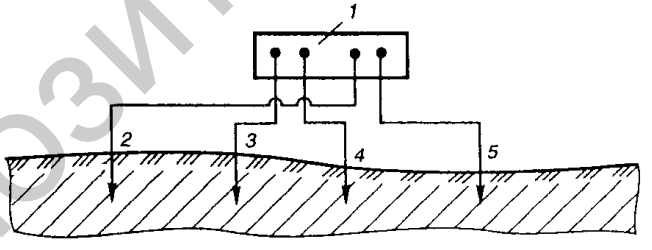

Рис. 87. Электропрофилирование толщи пород:
1 – прибор; 2-5 – электроды

Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) позволяет определять уровень подземных вод, дна речных долин, выделять слои

Репозиторий БНТУ

различного литологического состава. Сущность метода в том, что с увеличением расстояния между питающими электродами *А* и *Б* (рис. 88) линии токов перемещаются вниз. Глубина такого зондирования зависит от расстояния между точками *А* и *Б*.. По этим данным можно построить геологический разрез. На рис. 89 показана кривая ВЭЗ в сопоставлении с данными бурения. Рисунок показывает, что ВЭЗ четко определяет геологическое строение данной толщи пород.

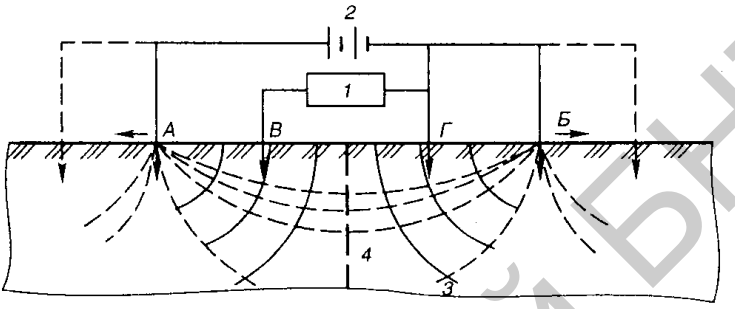

Рис. 88. Вертикальное электрическое зондирование (ВЭЗ) толщи пород:
1 – потенциометр; 2 – источник питания; А, Б, В, Г – электроды;
3 – эквипотенциальные линии; 4 – линии токов

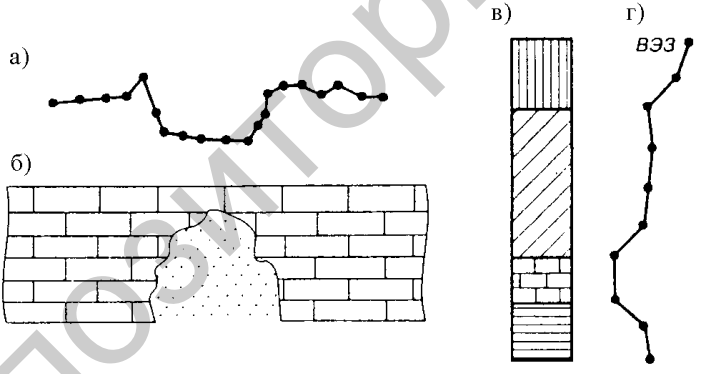

Рис. 89. Электроразведка толщ пород:
а – электропрофиль через карстовую полость, заполненную песком; б – карстовая полость в известняке; в – буровая колонка; г – кривая ВЭЗ

Наиболее полную информацию о характере залегания грунтов по глубине и непрерывно вдоль всего изучаемого профиля, а также о

Репозиторий БНТУ

наличии обводнений или различных уровней подземных вод над водоупорами и в водовмещающих толщах сыпучих грунтов позволяет использование георадара (рис. 90).

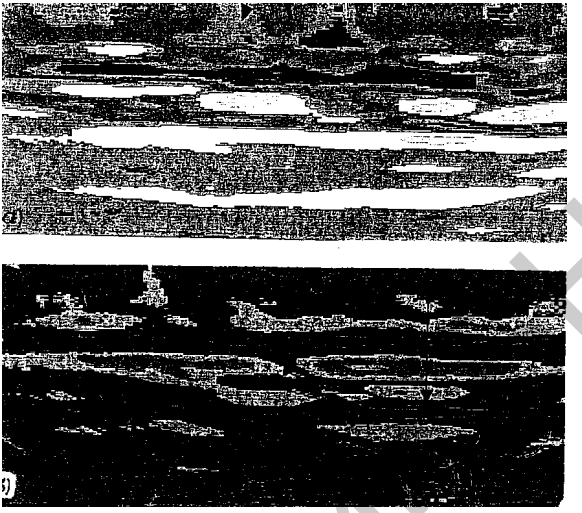

Рис. 90. Примеры георадарных профилей:
а – грунтовые напластования с различными грансоставом и прочностью;
б – то же с изменяющейся степенью обводнения

Геологические карты и разрезы создаются после окончания инженерно-геологических работ. Карты составляются в основном для больших площадей, где намечается крупное строительство, разрезы – во всех случаях строительства.

Геологические карты представляют собой проекцию геологических структур на горизонтальную плоскость. При их построении используют топографические карты соответствующего масштаба. Подразделяют карты коренных грунтов и четвертичных отложений, которые покрывают поверхность земли почти сплошным чехлом, скрывая от глаз коренные грунты дочетвертичного возраста. На *картах четвертичных отложений* принято показывать в плане на поверхности земли расположение грунтов различного происхождения (речные, ледниковые и т. д.) и литологического состава. *Карты коренных грунтов* показывают характер залегания, литологический

Репозиторий БНТУ

состав грунтов, располагаемых под четвертичными отложениями и скрыты от прямого наблюдения.

Среди геологических карт коренных грунтов основное место занимают инженерно-геологические, гидрогеологические и карты строительных материалов.

Инженерно-геологические карты — это сведения о важнейших инженерно-геологических факторах в пределах изучаемой территории.

Каждая инженерно-геологическая карта состоит из собственно карты, условных обозначений [17] (рис. 91), геологических разрезов и пояснительной записки.

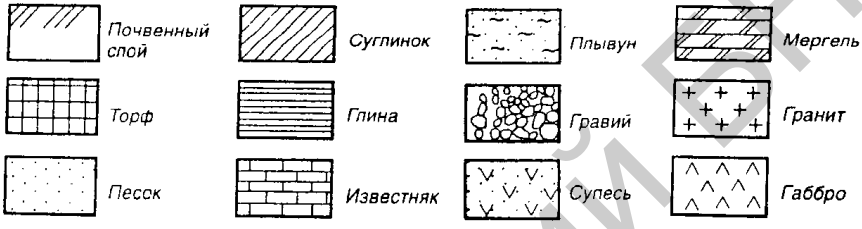

Рис. 91. Условные обозначения пород для литологических и других видов карт

Инженерно-геологические карты бывают трех видов: 1) инженерно-геологических условий, 2) инженерно-геологического районирования и 3) инженерно-геологические карты специального назначения.

Карта инженерно-геологических условий содержит информацию с расчетом на удовлетворение всех видов наземного строительства. Ее используют для общей оценки природных условий местности, где будет осуществлено строительство.

Карта инженерно-геологического районирования отражает разделение территории на части (регионы, области-районы и т. д.) в зависимости от общности их инженерно-геологических условий.

Карты специального назначения составляют применительно к конкретным видам строительства. Они содержат оценку инженерно-геологических условий территории строительства и прогноз инженерно-геологических явлений (рис. 92).

Репозиторий БНТУ

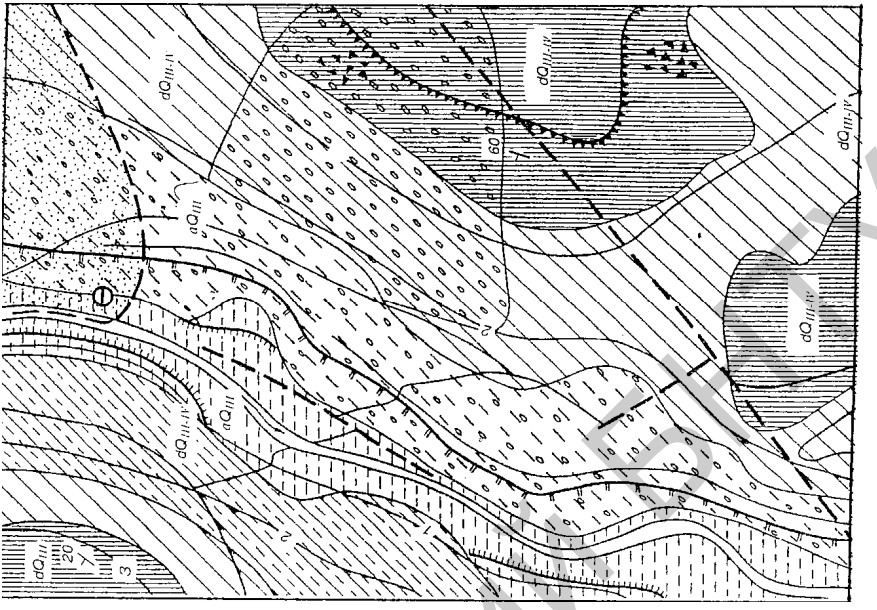

Рис. 92. Карта инженерно-геологических условий строительства

Масштабы инженерно-геологических карт находятся в зависимости от их назначения и детальности содержания:

• общие обзорные (или схематические) – от 1:500 000 и мельче;

• карты среднего масштаба – от 1:200 000 до 1:100 000;

• детальные крупномасштабные карты (от 1:10000 и крупнее) используют для обоснования проектирования при размещении конкретных объектов промышленного строительства, при застройке городских территорий и т. д.

Геологические разрезы (рис. 93) представляют проекцию геологических структур на вертикальную плоскость и позволяют выявить геологическое строение по глубине.

На геологическом разрезе показывают возраст, состав, мощность, условия залегания грунтов, гидрогеологические условия. Разрезы строятся по геологической карте или по данным разведочных выработок (шурфов, буровых скважин). Вертикальный масштаб разрезов обычно принимается в 10 и более раз крупнее гори-

Репозиторий БНТУ

зонтального.

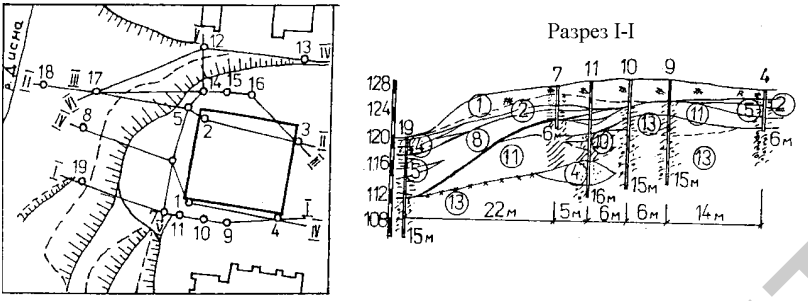

Рис. 93. Составление геологического разреза:
а – заложение скважин 1-19 на местности по линии разрезов I-I – VI-VI; б – геолого-литологический разрез I-I; 1-19 – буровые скважины; в скобках указаны номера ИГЭ

Выделение инженерно-геологических элементов на территориях строительных площадок. *Инженерно-геологический элемент* (ИГЭ) – это часть массива грунтов (слой, часть слоя и т. д.), однородная по возрасту, литологическому составу, показателям состояния и физико-механическим свойствам.

Выделение инженерно-геологических элементов позволяет целенаправленно размещать здания (сооружения) на территории, выделенной под строительство, и дает возможность решать вопрос выбора модели работы основания фундаментов.

Выделение инженерно-геологических элементов позволяет целенаправленно размещать здания (сооружения) на территории, выделенной под строительство, и даёт возможность решать вопрос выбора модели работы основания фундаментов.

6.2. Месторождения природных строительных материалов

Скопление в земной коре определенных грунтов, разработка которых представляет практический интерес, в частности для строительства, называется ***месторождением***. В комплекс инженерно-геологических исследований входят поиск и разведка естественных строительных материалов, которые необходимы для строительства объекта. Наличие нужных материалов в районе строительства играет решающую роль в выборе типа и конструкции сооружений. В состав месторождений входят грунты, которые являются естественным

Репозиторий БНТУ

строительным материалом либо сырьем для их производства.

Из естественных строительных материалов получают камень, песок, глину, щебень и т. д. Часто они являются сырьем для изготовления искусственных строительных материалов. Так, мергели служат для получения цемента, глины и суглинки – для кирпича и т.д. Нерудные полезные ископаемые в большинстве случаев добывают из открытых горных выработок, совокупность которых называют ***карьером*** (рис. 94).

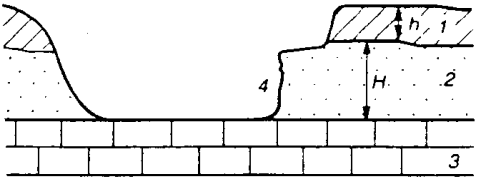

Рис. 94. Разрез карьера месторождения:
1 – вскрышной грунт; 2 – полезное ископаемое; 3 – подстилающий грунт; 4 – забой; ***h*** и ***H*** – мощности слоев грунтов

Поиски месторождений должны решить следующие задачи:

• на выбранной территории обнаружить необходимое полезное ископаемое;

• отобрать пробы для предварительной оценки материала;

• приближенно определить запасы месторождения;

• оценить целесообразность дальнейших разведочных работ.

В результате поисковых работ составляют карту-схему с указанием выявленных месторождений и карьеров полезных ископаемых, пояснительную записку с краткой характеристикой их размещения, качественной и количественной оценкой материала, изложением соображений по дальнейшим работам.

Разведка месторождений. Различают разведку *предварительную и детальную*.

При ***предварительной разведке*** необходимо выполнить следующие работы:

• установить геологические условия залегания полезного ископаемого (глубина залегания, мощность вскрыши, т. е. грунтов, покрывающих полезное ископаемое, мощность и форма залегания полезной толщи, характер подземных вод и т. д.);

• определить границы распространения полезного ископаемого, оконтурить месторождение и выявить участки, наиболее пригодные для эксплуатации;

• подсчитать запасы (количество) материала месторождения;

Репозиторий БНТУ

• изучить качество материала полезного ископаемого;

• уточнить условия эксплуатации месторождения и возможность транспортировки строительного материала.

Границы распространения месторождения устанавливают с помощью горных выработок (шурфы, буровые скважины), которые располагаются на пересечении линий правильной сетки (рис. 95,а). Расстояние между выработками чаще всего составляет 50 – 100 м и зависит от местных условий.

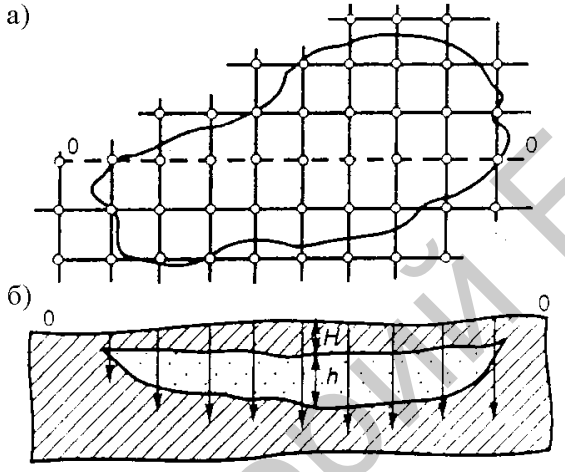

Рис. 95. Определение площади месторождения заложением горных выработок по сетке и построение геологического разреза:
а – в плане; б – в разрезе; H – мощность вскрышных работ;
h – мощность полезного ископаемого

Разведочные горные выработки позволяют составить геологические разрезы, по которым можно судить о форме залегания полезного ископаемого, мощностях вскрыши и полезной толщи (рис. 95,б), уточнить запасы, решить вопрос о влиянии грунтовых вод на разработку месторождения. В процессе проведения детальной разведки выявляют технические условия разработки месторождения, устанавливают способ и определяют технику для ведения горных работ, намечают технологическую схему разработки полезного ископаемого и т. д.

Под *запасом* понимается комплекс данных о геологическом теле по объему, форме, свойствам, условиям залегания и ведению горно-эксплуатационных работ.

Репозиторий БНТУ

6.3. Инженерно-геологические изыскания для строительства

Общие положения. Инженерно-геологические изыскания являются начальным этапом строительства любого объекта и находятся в полной зависимости от вида объекта (промышленное предприятие, жилой дом, автомобильная дорога и т. д.). Поэтому изыскания под каждый вид объекта имеют свою специфику, свои особенности, но все изыскания имеют нечто общее.

Результаты инженерно-геологических исследований в виде отчета поступают в строительную проектную организацию. Отчеты должны иметь для инженера-проектировщика материалы по семи основным позициям:

• оценка пригодности площадки для строительства данного объекта;

• сведения для решения всех вопросов по основаниям и фундаментам, включая выбор несущего слоя грунта, так и для производства земляных работ;

• оценка грунтового основания на восприимчивость возможных динамических воздействий от объекта;

• наличие геологических процессов и их влияние на устойчивость объекта;

• полная характеристика подземных вод;

• влияние будущего объекта на природную среду.

Проектирование крупных объектов осуществляется по стадиям: технико-экономическое обоснование (ТЭО), технический проект, рабочие чертежи.

Содержание инженерно-геологических изысканий отличается и имеет свою специфику в различных областях строительства: ***для промышленных сооружений; для градостроительных работ*** (проекты детальной планировки, отдельных зданий)***; для подземных сооружений*** (подземные резервуары, очистные канализационные сооружения, станции перекачки, а также различные объекты специального назначения: метро, подземные переходы и т.д.)***; для гидротехнических сооружений*** (плотины и водохранилища)***; для объектов линейного строительства*** (линии электропередачи, магистральные трубопроводы, автомобильные и железные дороги и т.д.).

Особенностью ***подземных сооружений*** является большое за-

Репозиторий БНТУ

глубление. Их фундаменты на грунт оснований передают небольшие давления, которые иногда даже меньше, чем от собственного веса грунта, вынутого при отрывке котлована. Большее значение имеет устойчивость грунтов в откосах котлованов, особенно при наличии подземных вод, а также боковое давление грунтов на сооружения после засыпки пространств между стенками сооружений и откосами котлованов.

При значительной глубине заложения сооружения и наличии контакта с подземными водами изучают режим, состав и агрессивность подземных вод. Одновременно решаются вопросы водоотлива при производстве работ, а также конструкции дренажей на период эксплуатации сооружений. Результаты исследований оформляют в виде обычного инженерно-геологического отчета.

Изыскания под ***плотины и водохранилища*** являются наиболее сложными. Их состав и объем определяются тремя основными факторами:

- характером проектируемого сооружения;
- стадией проектирования;
- сложностью геологических условий района строительства.

Для наиболее простых гидротехнических сооружений возможно одностадийное проектирование с составлением технорабочего проекта. Для сложных сооружений предусматривается несколько стадий проектирования.

Важнейшее значение имеют работы по гидрогеологии. В районе плотины изучаются условия фильтрации. Особое внимание уделяется полевым работам (опытные откачки, нагнетание, наливы) и наблюдениям за режимом подземных вод. При оценке потерь воды из водохранилища, кроме фильтрации, следует учитывать возможность ее ухода через расположенные вблизи депрессии рельефа подземные выработки, карстовые пустоты. Определяются возможность выщелачивания и механической суффозии грунтов: выходы напорных вод; вероятность развития оползней на склонах и в местах примыкания плотины к берегам; характер подтопления окружающей водохранилище территории, особенно населенных пунктов и промышленных объектов.

При инженерно-геологических работах для проектирования гидротехнических сооружений производят поиск и разведку строи-

Репозиторий БНТУ

тельных материалов. Подсчет запасов выполняют из расчета превышения потребностей в 2 – 3 раза. Ведут поиски материала для отсыпки плотин. В период эксплуатации земляных плотин и водохранилищ важное значение имеют наблюдения за поведением грунтового тела плотины (осадки, сдвиги).

Одной из особенностей изысканий под ***линейное строительство*** является большая протяженность при милой ширине полосы изыскания. Инженерно-геологические изыскания для каждого вида линейных объектов учитывают их специфику. Сопутствующие линейным объектам здания и сооружения проектируют как для промышленно-гражданского строительства.

Инженерно-геологические изыскания ***в связи с надстройкой зданий, реконструкцией и изменением их этажности*** выполняют в один этап. Строители изучают конструкцию здания с целью выявления возможности надстройки дополнительных этажей, а инженеры-геологи занимаются изучением грунтов оснований. Если сохранился проект здания и материалы прежних инженерно-геологических изысканий, то объем работ может быть минимальным с отбором монолитов грунта для лабораторных анализов и проверкой состояния здания. Если нет этих материалов, то необходимо выполнить полный объем инженерно-геологических работ.

В состав полного объема инженерно-геологических исследований входит изучение материалов по данной территории или для соседних участков, изучение геолого-литологического строения площадки, грунтовых вод, инженерно-геологических процессов и природных геологических явлений. Определяют глубины заложений и состояния фундаментов, стен подвалов, гидроизоляцию, конструкцию дренажей и т. д.

Количество выработок и их глубину устанавливают в зависимости от размеров здания, сложности геологического строения участка, глубины заложения и максимальной ширины подошвы фундамента, активной зоны основания.

Буровые скважины располагают вокруг здания, а шурфы по характерным его сечениям – около фундаментов. Монолиты отбирают с глубины заложения фундаментов и ниже через каждые 0,5 м проходки и в зависимости от смены слоя грунта – до нижней границы активной зоны основная.

При оценке грунтов как основания, следует помнить, что под воз-

Репозиторий БНТУ

действием веса здания грунты уже в какой-то мере уплотнены и приобрели повышенную несущую способность: в песке через 1 год после окончания строительства, в супеси и суглинке – через 1,5 – 2 года, в глине – через 2 – 3 года. Вывод о повышении несущей способности грунтов может быть сделан посредством сравнения характеристик образцов грунтов под подошвами фундаментов и вне контура здания.

При удовлетворительном состоянии здания и необходимой уплотненности можно производить надстройку здания без уширения существующих фундаментов. Это значит, что грунты основания позволяют увеличить давление по отношению к фактическому на 25 – 35 %, а при особо благоприятных условиях даже на 45 – 50 %.

Все исследования, выполненные в связи с надстройкой здания, оформляют в виде инженерно-геологического заключения.

При этом руководствуются предписаниями Пособия П11-01 к СНБ 5.01.01-99 «Геотехнические реконструкции оснований и фундаментов зданий и сооружений».

7. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОХРАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ БЕЛАРУСИ

7.1. Региональные инженерно-геологические и гидрогеологические условия территории Беларуси

Общие сведения. Территория Беларуси составляет 207,6 тыс. км^2, население – около 9 млн. чел. Земная поверхность республики расположена над уровнем моря в среднем на 160 м с абсолютными отметками в пределах 80-346 м. На юге, западе и севере рельеф равнинный, нередко-заболоченный, характеризующийся наличием плоских котловин и зарастающих озер и болот. Равнины низменные занимают 3/5, а возвышенные и платообразные – 2/5 территории. На северо-западе Беларуси крупнохолмистые моренные возвышенности чередуются с водно-ледниковыми низинами и моренными равнинами. Белорусская гряда простирается от Гродно на восток и северо-восток до Орши, переходя далее в Смоленско-Московскую возвышенность. В средней части гряды расположена Минская возвышенность с горами Дзержинской (высотой 346 м) и Лысой (341 м).

На юге Беларуси простирается обширная низменность Белорус-

Репозиторий БНТУ

ского Полесья, основную часть которой занимают долина р. Припять, озерно-аллювиальная и водно-ледниковая равнины. Отдельными массивами возвышаются участки моренной равнины, холмы и гряды, конечно-моренных образований. Широко развиты болотные массивы, а также эоловые отложения, образующие дюнно-бугристые формы.

Древесная растительность занимает около 35% территории, болотная – 5%. Несмотря на это, процесс заболачивания охватывает примерно 1/3 площади республики. Заболоченные земли встречаются в лесах, на лугах и пахотных землях.

Почвообразующими являются отложения: водно-ледниковые – 29,1%, моренные – 11,5%, органогенные торфяные грунты – 23%, пески аллювиальные и эоловые – 10,5%, лёссовидные и другие грунты.

7.2. Геологические условия

Дочетвертичные отложения. Территория Беларуси является западной частью Русской платформы – древнейшего участка земной коры, сформировавшегося еще в докембрийском геологическом времени. Фундамент платформы составляют кристаллические породы, залегающие на разных глубинах под чехлом более молодых осадочных пород. Коренные магматические породы фундамента дислоцированы (смещены), смяты в складки, метаморфизованы и трещиноваты.

Кристаллический фундамент образует крупные поднятия и впадины (рис. 96).

Докембрийские граниты, габбро, гнейсы и др. на юге Беларуси (Лельчицкий р-н) выходят на поверхность, а во впадинах опускаются до 5000 м от уровня моря.

Главным структурно-тектоническим элементом фундамента является поднятый Белорусский массив, сочлененный с отрицательными структурами: на юго-западе – с Брестской, на северо-западе – с Прибалтийской, на востоке – с Оршанской, на юго-востоке – с Припятской впадинами. Между впадинами расположены разделяющие их седловины – Латвийская, Жлобинская, Полесская. Чехол осадочных пород сформирован в послекембрийское время и отражает последствия геологической деятельности эндогенных и экзо-

Репозиторий БНТУ

генных процессов. Территория Беларуси неоднократно опускалась и заливалась морем, а затем поднималась и становилась сушей.

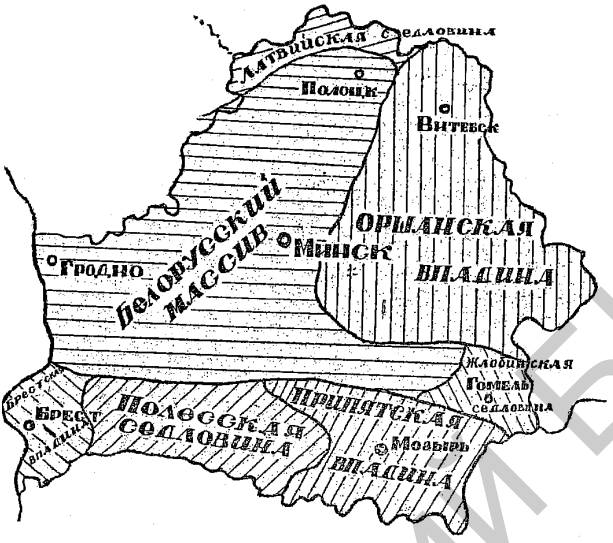

Рис. 96. Структурно-тектоническая карта Беларуси

В разрезе осадочной толщи чехла встречаются морские отложения: калийные соли, известняки, доломиты, мел и др. континентальные отложения: крупнообломочные, песчаные, глинистые и другие породы, отложенные в разные геологические периоды.

Под четвертичными отложениями залегают: к северу от Минска – девонские отложения, представленные в основном мергельно-глинистыми пластами мощностью 25-30 м и доломитами мощностью до 29 м; меловые отложения мощностью до 120 м (песчаные и мергельно-меловые грунты); на юге – отложения палеогена и неогена мощностью до 50 м (пески кварцево-глауконитовые, мергели, алевролиты, глины и др.).

Распространение четвертичных отложений в Беларуси дано на карте (рис. 97).

Репозиторий БНТУ

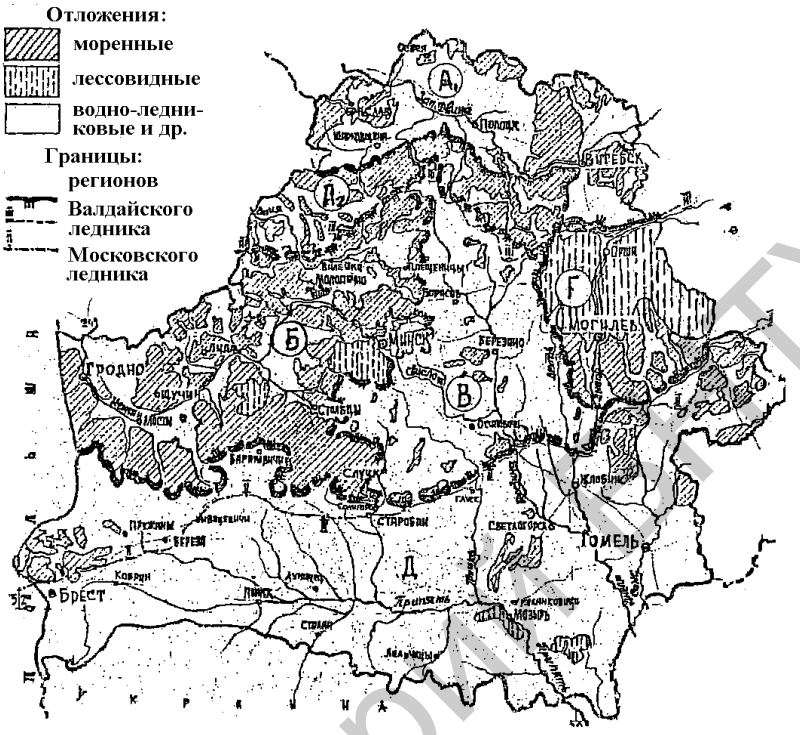

Рис. 97. Региональная карта грунтов Беларуси

Четвертичные отложения. На территории Беларуси верхние пласта земной коры образовались преимущественно в четвертичном периоде геологической истории Земли, т.е. на протяжении последних 1-1,5 млн. лет. Для этого периода характерны длительные и значительные колебания температуры, в результате которых происходили неоднократные похолодания климата, вызывавшие оледенения территорий, и последующее таяние ледников.

За последние 500-600 тыс. лет было не менее пяти оледенений территории Беларуси и соответственно – сравнительно теплых межледниковий. Общая схема оледенения территории Беларуси с указанием зон геологической деятельности ледника приведена на рис. 98. Центр оледенения находился в горах Скандинавии. Наиболее мощным было Днепровское оледенение, распространявшееся далеко за южные границы республики, и достигавшее Херсона и Волгограда.

Репозиторий ГГУ

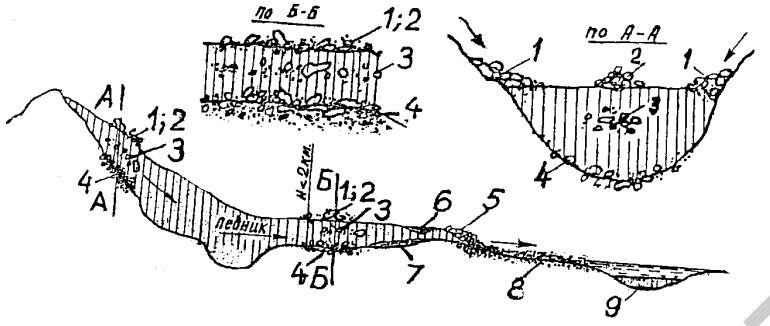

Рис. 98. Схема оледенения Беларуси и виды отложений морены:
1 – боковая; 2 – срединная; 3 – внутренняя; 4 – донная; 5 – конечная; 6 – камы;
7 – озы; 8 – зандры; 9 – пески; 10 – ленточные глины

Во время оледенений ледники разрушали горные породы в зоне питания, захватывали их и переносили на огромные расстояния. При этом часть пород постепенно оседала на дно ледника и смешивалась с породами ложа его русла. Перетертые, спрессованные весом льда и отложенные обломочные породы составляли собственно ледниковые (гляциальные) или моренные отложения. Толща ледников доходила до 2 км. Под таким огромным весом льда формировались исключительно плотные моренные супеси и суглинки основных (донных) морен.

Кроме основной морены, ледники оставили и другие характерные собственно ледниковые отложения, водно-ледниковые и озерно-ледниковые осадки.

Таким образом, *четвертичные отложения Беларуси сформированы в основном геологической деятельностью ледников.*

По геоморфологическим признакам (структуре поверхности) территорию республики можно расчленить на три области: ледниковую (гляциальную), переходную (субгляциальную) и внеледниковую.

Ледниковая область занимает северную часть| Русской платформы примерно до городов Брест – Барановичи – Солигорск – Глуск – Жлобин. В этой области развиты разнообразные по составу моренные и другие отложения (флювиогляциальные, аллювиальные, озерно-ледниковые, озерно-болотные, лессовидные). Мощные конечно-моренные гряды и пояса ледниковой области простираю-

Репозиторий БНТУ

ся с запада на восток через центральные районы Беларуси. Между конечно-моренными поясами находятся менее выраженные моренные гряды, донно-моренные волнистые равнины: камы, друмлины, озы, ложбины и ледниковые депрессии (котловины).

Последнее оледенение на севере республики оставило множество озер и характерные озерно-ледниковые отложения – ленточные глины.

Субледниковая (переходная) область в южной части Беларуси представлена заболоченной Полесской низменностью. Переходная область сформирована ледниковыми водными потоками и послеледниковой речной сетью. Здесь развиты флювиогляциальные (водно-ледниковые) и аллювиальные (речные) отложения, обильные подземные воды, залегающие в песчаных зандровых и древнеаллювиальных отложениях примерно на 3-5 м от поверхности.

Внеледниковая (экстрагляциальная) область лежит почти полностью вне южной границы Беларуси. Рельеф области (территория Украины) отличается развитой сетью речных долин, балок и оврагов, прорезающих плоские, водоразрезанные пространства. В этой зоне развиты преимущественно лессовые и лессовидные грунты, накопленные в результате выдувания и переноса ветрами пылеватых частиц моренных отложении после отступления таявших ледников. Лессовидные породы также распространены на территориях Могилевской и Минской областей.

Речные долины выделяются в самостоятельный вид рельефа, характерный для каждой области. Поймы рек Беларуси обычно заболочены на значительную глубину и имеют развитые поименные и старичные (озерно-болотные) отложения.

Ледниковые и переходные области формировались при каждом оледенении. Последующие оледенения и межледниковья перерабатывали и изменяли ранее сформированный рельеф. В результате сложных воздействий основных факторов выветривания – льда, воды, ветра и температурных воздействий – на территории Беларуси возникла весьма пестрая картина распределения четвертичных отложений, представленная обобщенно на карте грунтов (см. рис. 99).

Вся территория Беларуси по распространенности основных видов грунтов и по геоморфологическим признакам разбита на пять грунтовых регионов:

А – Белорусское Поозерье ($А_1$ – северное, $А_2$ – южное);

Репозиторий БНТУ

Б – Белорусская гряда;

В – Центрально-Березинская равнина;

Г – Восточно-Белорусское плато;

Д – Белорусское Полесье.

В указанных регионах преимущественно распространены следующие виды грунтов:

$А_1$ – ленточные глины, суглинки, глины, илы;

$А_2$ – супеси и суглинки моренные, пески и .песчано-гравийные грунты;

Б – моренные грунты, пески и гравийные грунты;

В – водно-ледниковые пески;

Г – лессовидные супеси и суглинки;

Д – аллювиальные и озерно-болотные грунты.

7.3. Собственно ледниковые (моренные) отложения

Донные (основные) морены. Отложения донной морены распространены почти на всей территории оледенения. Пласты основной морены более ранних оледенений погребены под водно-ледниковыми отложениями межледниковый и пластами последнего валдайского оледенения.

Донная морена Днепровского оледенения вместе с водно-ледниковыми отложениями имеет мощность 20-120 м, распространена почти повсеместно, залегает на поверхности или перекрыта Московской мореной и современными осадками. Московская морена северной части республики имеет мощность до 30 м.

Основная морена представлена *супесями, суглинками и глинами с включениями гальки, гравия и валунов* изверженных и осадочных пород. Моренные грунты являются водоупором грунтовых и межморенных вод, располагающихся в песчаных водно-ледниковых отложениях. *Донная морена* вследствие разнозернистости и большой плотности *обладает обычно хорошими физико-механическими свойствами как естественное основание сооружений*.

Конечные морены. При длительной остановке ледника у его тающего языка накапливались гряды, пояса и цепи холмов высотой до 100 м, состоящие из обломков пород разной крупности. Это – конечные морены, тянущиеся на сотни километров в длину и до 50 км в ширину. На территории Беларуси насчитывают около 7 поя-

Репозиторий БНТУ

сов конечно-моренных (краевых) образований. Низшие части конечных морен обычно представлены отложениями донной морены.

Состав пород моренных гряд и поясов отличается большим разнообразием и неоднородностью обломков: *моренные супеси и суглинки часто переслаиваются песками, гравием, галькой и валунами*. Вершины и склоны гряд и холмов нередко покрыты плащом лессовидных образований. Грунтовые воды обычно залегают на значительной глубине. *Грунты конечных морен, как правило, являются хорошим естественным основанием сооружений и могут быть использованы как строительные материалы, для приготовления бетонов и дорожных покрытий*.

Валуны и глыбы – обломки скальных пород, иногда достигающие 5-6 м в поперечнике. Особенно много принесено ледником гранитных валунов небольшого размера диаметром 20-50 см, рассеянных по полям и лесам Гродненской, Минской и Витебской областей. Крупнообломочный материал морены входит в состав моренных песков, супесей и суглинков, являясь характерным показателем ледникового происхождения названных пород. Валуны наносят большой вред земледелию, но в то же время являются ценным строительным материалом.

Отторженцы – громадные массивы пород весом до десятков млн.т, отторгнутые ледником от встреченных коренных пород и перемещенные на большие расстояния. В Беларуси насчитывают более 150 крупных отторженцев осадочных пород. Среди них встречается много меловых отторженцев, которые используются как сырье для цементных и известковых заводов.

7.4. Водно-ледниковые (флювиогляциальные) отложения

Зандровые равнины (поля). На пространствах, прилегающих к южной границе тающего ледника, происходило непрерывное вымывание ледниковыми водами песчаных и пылеватых обломков из конечно-моренных и донных отложений. В результате переноса и отложения частиц песка и пыли образовались плоские или слабо волнистые зандровые равнины. На всей территории Беларуси водно-ледниковые зандровые отложения имеют широкое распространение и простираются на юг от конечных моренных гряд. Зандровые равнины преимущественно расположены в Гомельской и Бре-

Репозиторий БНТУ

стской областях. Грунтовые воды в зандрах залегают на глубине 3-6 м, а в понижениях рельефа иногда выходят на поверхность. *При отсутствии явлений плывунности зандровые пески представляют собой удовлетворительные основания для сооружений.* Мелкие и пылеватые пески могут применяться для приготовления бетона низких марок.

0зы. Это – узкие гряды, сложенные обломочным материалом – *песком, гравием, галькой, валунами*. Озы образованы под ледниками потоками или реками, которые текли в промоинах и трещинах ледника, часто ориентированы в направлении движения ледника с юга на север и с северо-запада на юго-восток и тянутся на расстоянии до 40 км в виде природных насыпей шириной по основанию 40-200 м, по верху 4-20 м и высотой 15-90 м. Под озами обычно залегают обильные грунтовые воды.

Озовые гряды распространены в пределах конечноморенных поясов и на донно-моренных равнинах. *Грунты таких гряд являются хорошим основанием для сооружений и используются как дорожно-строительные материалы*.

Камы. В пределах конечноморенных поясов образуются типичные холмы круглой или эллиптической формы – "пироги" – высотой до 60 м, диаметром в сотни километров, со склонами крутизной в 5-45°. Их происхождение объясняют наличием проталин или западин в леднике, которые вместе с талой водой заполнялись моренным материалом. Камы сложены *слоистыми песками, гравием, супесями и суглинками*. Склоны и вершины холмов иногда покрыты "шапкой" из валунного суглинка. Многие камы строители используют как карьеры добычи гравийно-песчаной смеси.

Озерно-ледниковые (лимногляциальные) отложения. Последнее оледенение на севере Беларуси оставило после себя многочисленные малые и большие озера и равнину, сложенную озерными и озерно-ледниковыми отложениями. Относительная высота равнинного рельефа незначительна – не более 5 м. *Равнины сложены ленточными глинами и песками*.

Ленточные глины представляют собой слоистый грунт, в котором тонкие прослойки пылеватого песка (толщиной 3-7 мм) перемежаются с прослоями глин толщиной не более 10 мм.

Ленточные глины Витебской области являются хорошим сырьем

Репозиторий БНТУ

для производства кирпича. Однако в качестве оснований для сооружений озерно-ледниковые отложения проявляют целый ряд отрицательных свойств: подвергаются пучению, тиксотропному разжижению и пр. Кроме описанных отложений ледникового комплекса, на территории Беларуси встречаются четвертичные отложения проблематичного и эолового происхождения: лёссовидные покровные супеси и суглинки (регион Г), эоловые холмы и материковые дюны (район Калинковичи), аллювиальные отложения речных долин и др.

Современные отложения представлены элювием и почвами, делювием, аллювием, озерными и болотными отложениями, насыпными грунтами. Эти отложения, обычно – небольшой мощности, покрывают грунты ледникового происхождения.

7.5. Гидрогеологические условия

Гидрогеологические условия Беларуси определяются структурно-тектоническим строением кристаллического фундамента и особенностями генезиса осадочного чехла, в частности – четвертичных отложений. Крупная положительная структура – Белорусский массив – является областью питания, формирования и стока напорных пресных вод в окружающие его впадины – Прибалтийскую, Оршанскую, Припятскую и Брестскую (карта артезианских бассейнов дана на рис. 99).

Прибалтийский бассейн площадью 38322 км^2 расположен на северо-западе Беларуси. Воды залегают в трещинах пород кристаллического фундамента, в водоносных отложениях чехла разных геологических периодов и в четвертичных отложениях. По интенсивности водообмена выделяется три яруса водоносных комплексов - нижний, средний и верхний, – которые гидравлически взаимосвязаны. Воды всех комплексов слабо минерализованы; их минерализация повышается с глубиной до 50 г/л. Воды относятся к сульфатным и сульфатно-хлоридным.

Репозиторий БНТУ

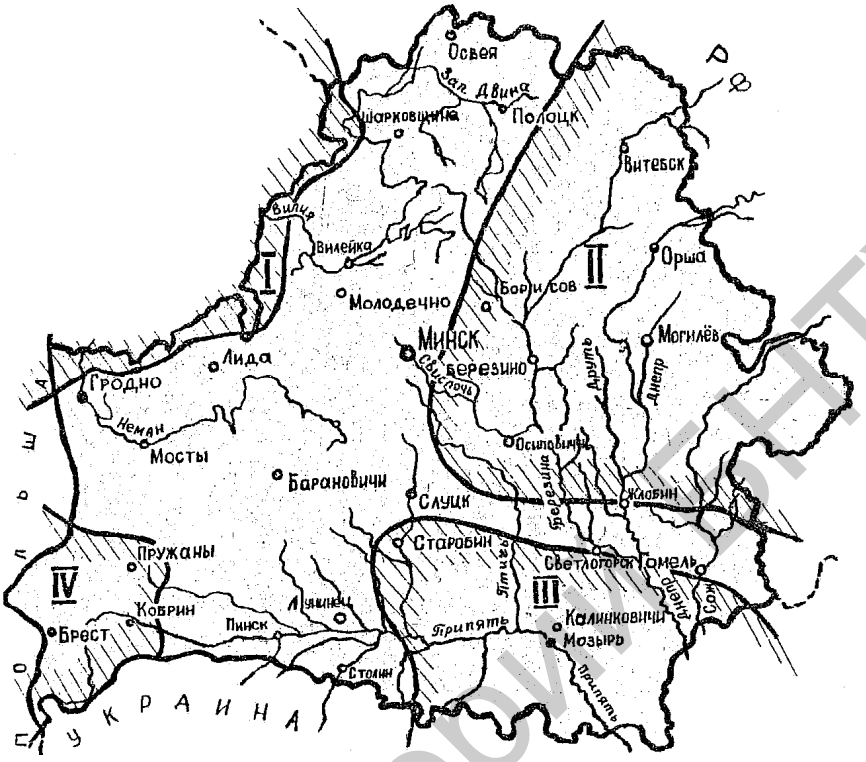

Рис. 99. Карта артезианких бассейнов Беларуси:
I - Прибалтийский; II – Оршанский; III – Припятский; IV – Брестский

Оршанский бассейн площадью 71319 км^2 является западной частью Московского бассейна. В бассейне выделены две гидродинамические зоны – активного и замедленного водообмена: первая объединяет пресные воды четвертичных, меловых и девонских отложений; вторая, расположенная на глубине более 800 м, с минерализацией вод до 163 г/л, не имеет активной связи с поверхностью.

Припятский бассейн площадью 65715 км^2 на юге сливается с Днепровско-Донецким артезианским бассейном. В бассейне выделяется три яруса водоносных комплексов: нижний – с замедленным водообменом и минерализацией вод до 440 г/л; средний – с залеганием вод в известняках, мергелях, доломитах и песках и минерализацией до 50 г/л; верхний – с залеганием пресных вод в юрских, меловых и четвертичных, преимущественно межморенных отложениях.

Репозиторий ГГТУ

Брестский бассейн площадью 31619 км^2 является восточной частью Полесского погружения. В бассейне выделяется ряд водоносных горизонтов, разделяемых водоупорными породами. В кристаллическом трещиноватом фундаменте залегают трещинные воды. Выше расположены водоносные комплексы в трещиноватых песчаниках, известняках, доломитах, мергелях и мелах. Минерализация вод повышается с глубиной до 12,2 г/л.

Областями питания всех артезианских бассейнов являются склоны Белорусского массива, седловины и прилегающие поднятия, расположенные вне границ республики; основными областями их разгрузки служат прилегающие погружения, соединенные с бассейнами Балтийского и Черного морей. Кроме того часть вод разгружается по долинам рек и их притоков.

На всей территории республики широко распространены напорные воды, залегающие в межморенных флювиогляциальных отложениях. Эти воды вместе с водами палеогена, мела и девона дают около 80% подземного стока и широко используются в водоснабжении.

7.6. Геологическое строение Минска и окрестностей

Геологические условия. В геологическом отношении район г. Минска и его окрестностей располагается в пределах Белорусской гряды, сформировавшейся в период Московского оледенения. Гряда представляет собой широкую крупнохолмистую возвышенность, образованную ледниковыми и водно-ледниковыми отложениями. Она простирается от западных границ БССР на восток и северо-восток, выходя за пределы республики. Наибольшей высоты она достигает в средней своей части, образуя крупнохолмистую Минскую возвышенность.

Рельеф Минской возвышенности имеет, типичный конечноморенный характер. Конечноморенные гряды довольно высоки и вытянуты в широтном направлении. Холмы здесь чередуются с понижениями, заполненными водно-ледниковыми отложениями. На поверхности размытых участков имеется большое количество валунов разного размера. Широко развиты эрозионные промоины, возникшие в результате деятельности поверхностных вод.

Оледенение и процессы послеледникового периода определили состав и характерные особенности отложений. Состав моренной

Репозиторий БНТУ

толщи здесь чаще всего *супесчаный со значительными прослойками глин*. *Суглинки и супеси* имеют красно-бурый, серовато-бурый цвет, содержат валуны кристаллических и осадочных пород; встречаются известняковые включения. Типичные моренные отложения прослаиваются водно-ледниковыми *песками и супесями*, а также озерно-ледниковыми образованиями. Поверх морены отложены *мощные толщи песков, супесей и суглинков* водно-ледникового происхождения, которые явились исходным материалом для формирования покровных лессовидных отложений мощностью в несколько метров.

На территории Логойского района ярко выражены современные процессы площадной и линейной эрозии, а также проявления суффозии. Распространены овраги, балки, делювиальные шлейфы, западины, имеют место процессы размыва и смыва.

Общая мощность четвертичных отложений, вскрытая буровыми скважинами, достигает 120 м. В толще этих отложений можно выделить следующие генетические типы:

1) современные болотные, озерно-болотные образования;
2) современные озерно-аллювиальные отложения;
3) водно-ледниковые (флювиогляциальные) отложения;
4) лёссовидные образования проблематического происхождения;
5) конечноморенные отложения;
6) моренные (донные) отложения.

Ниже четвертичных отложений лежат пески среднего девона.

7.7. Охрана природной среды как общечеловеческая задача [2]

Последние десятилетия XX века ознаменовались стремительным ростом численности населения Земли (уже сейчас оно превышает 6 млрд. чел.) и его научно-технической вооруженностью. Все это создало невиданное до сего времени активное антропогенное воздействие на биосферу, масштабы антропогенных и естественных факторов влияния на среду стали сопоставимыми. В этом сбылось предсказание В.И. Вернадского, что человеческая деятельность превратилась в геологический фактор. Геологические процессы, сформировавшие нашу планету, построившие ее, создавшие геологические структуры, породы, ландшафты и внешний облик, происходят не-

Репозиторий БНТУ

измеримо медленнее, чем мощная строительная деятельность последних двухсот лет, когда за считанные годы, месяцы, дни (и даже минуты: взрывом построена плотина в Медео) человек создает города как техногенные горные системы; водохранилища как техногенные моря и озера; каналы как техногенные реки; терриконы вскрышной породы как техногенные холмы; добывает руду, уголь, нефть, поднимая на поверхность как вулканы; сельскохозяйственная деятельность стала соизмеримой по масштабам с денудационными процессами, с выветриванием, с площадной эрозией, но осуществляется она в тысячи раз быстрее, чем в природе на протяжении всей геологической истории.

Строительство — один из самых мощных видов производственной деятельности XX века, превратилось в природообразующий, («средодеформирующий») фактор. Изменяемая при строительстве геологическая среда оказывает значительное влияние на протекание процессов в сложившемся круговороте вещества, энергии и информации в биосфере, часто дестабилизируя круговоротные процессы. Кроме того, повсеместное загрязнение окружающей нас среды разнообразными веществами, порой не имеющими природных аналогов и подчас совершенно чуждыми для нормального существования живых организмов, представляет серьезную опасность для нынешнего и будущего поколений человека на Земле. Налицо наличие глобального экологического кризиса, и перед биосферой дилемма довольно проста в своем решении: биосфера сможет справиться с кризисом через несколько десятков тысяч лет, но без человека и человечества, а это для нас практического смысла не имеет. Выходом из кризиса для человека является сохранение природной среды, адекватной по своим экологическим условиям для сохранения биосферы в целом, и с человечеством, в частности. Для этого необходимо решение ряда проблем, многие из которых не нашли еще даже теоретических решений: одни – технологически сложны, другие – экономически невыгодны, большинство этих проблем человеческим разумом неосознанны. Тем не менее мировым сообществом выработаны модели развития на ближайшую и отдаленную перспективу, одной из которых является «Концепция устойчивого (поддерживающего) развития», обусловленная согласием, несмотря на серьезные критические возражения, подавляющего большинства государств мира в Рио-де-Жанейро в 1992 г.

Репозиторий БНТУ

Современная кризисная экологическая ситуация в своем разрешении требует экологизации многих сфер человеческой деятельности и, в частности, строительства, как чрезвычайно мощного фактора воздействия на природную среду. Необходимо учитывать, что строительство свое воздействие будет наращивать в связи с ростом общей численности населения Земли и с нарастающей урбанизацией (уже сейчас почти 60 % населения живет в городах). Кроме того, проявилась тенденция к созданию мегаполисов и промышленных зон большой территории. Строительная экспансия не обязательно связана с новыми строительством и освоением территорий, но все больше будет направлена на реконструкцию имеющихся поселений и промышленных комплексов и активное освоение подземного пространства. При этом существенно возрастают роль инженера-геолога и инженера-строителя, обладающего геологическими знаниями. В условиях реконструкции существующих сооружений им придется использовать уже измененную геологическую среду, а также проектировать и возводить («переделывать») здания в условиях влияния других зданий при имеющейся плотной городской застройке. При этом нарастают требования по обеспечению безопасности и надежности сооружений даже при мощных природных и техногенных чрезвычайных ситуациях, так как при росте численности населения Земли все чаще надо использовать под строительство сложные в геолого-климатическом отношении территории. Для жизни человека и работе в комфортных условиях необходимо улучшать качество зданий и сооружений. Главнейшим требованием на ближайшую перспективу остается снижение техногенного натиска на биосферу, устранение загрязнений и т. д.

С позиций инженерной геологии это повышает требования к результатам ее исследований и в определенной мере экологизирует ее как науку.

Коэволюция инженерной геологии и геоэкологии. Рассматриваемая проблема коэволюции инженерной геологии и геоэкологии имеет вполне определенное значение, обусловленное новым этапом в развитии геологических и экологических наук.

Ставшее классическим определение Е.М. Сергеева трактует инженерную геологию как науку о рациональном использовании и охране геологической среды от вредных для человека и природы

Репозиторий БНТУ

процессов и явлений. Это определение высказано более 20 лет тому назад и во многом предопределило экологизацию самой «инженерной» из всех геологических дисциплин науки. Данная экологизация сыграла роль «установки», как говорят психологи, на всё последующее развитие инженерной геологии. При этом вся предыдущая история инженерной геологии имела вполне определенные экологические корни. Даже и возникновение инженерной геологии обусловлено вполне экологическим фактором – требованиями обеспечения строителей необходимыми для расчетов фундаментов сведениями о прочности и деформируемости подстилающих грунтов. Поэтому встречающееся иногда *расхожее определение инженерной геологии как геологии на службе у строителей, в общем-то, достаточно точное. Строительство, являясь чрезвычайно важным экологическим фактором, предопределило инженерную геологию как науку экологического цикла*.

Главными инструментально изучаемыми объектами сначала были грунты с изменением их свойств во взаимодействии с сооружением, а затем – все более инженерно-геологические процессы. Иными словами, инженерная геология постепенно переходит от изучения объектов в статике к изучению динамических геологических систем во взаимодействии со строительными системами. Под «строительной системой» мы понимаем здания, сооружения и их комплексы с инфраструктурой инженерных сетей, обеспечивающих их функционирование, а также сосредоточенные в них технологии. Устойчивость строительной системы, ее надежность и безопасность для человека определяется в итоге качеством взаимодействия системы с геологической средой. Изменяемость геологической среды – это геологические процессы, которые усложняют задачи строителей и «провоцируют» свое дальнейшее развитие уже под воздействием созданной строительной системы.

Экологические аспекты взаимодействия строительства и геологической среды приводят к заключению о необходимости комплексного рассмотрения системы «сооружение – окружающая среда», что в значительной мере и предопределило формулирование экологической проблематики в геологии. Е.А. Козловский в 1989 г. назвал это новое научное направление геоэкологией. При этом функциональной единицей является «геоэкологическая система», включающая в себя: растительность, живые организмы (в т. ч. чело-

Репозиторий БНТУ

века), геологическую среду и техногенно-хозяйственные объекты. Кстати, в разработках К.И. Сычева говорится о том, что предметом геоэкологии являются знания не только о состоянии геологической среды и всех ее компонентов в отдельности, но и происходящих в них процессах.

Геоэкология представляется как междисциплинарная наука, рассматривающая человека как фактор развития и в то же время объект зашиты его от различных геосферных процессов. В таком контексте инженерная геология может быть представлена как наука, изучающая взаимодействия «строительных систем» с развивающейся геологической середой.

Глобальная проблема охраны природной среды затрагивает как все человечество в целом, так и все страны и народы, и может быть решена лишь коллективным разумом и при объединении усилий всех людей на Земле. Это связано с тем, что природные ресурсы планеты (атмосфера. гидросфера, флора, фауна) не могут быть разделены государственными границами; этих границ не признают и многие загрязнения.

Каждое государство, охраняя среду в своих границах, решает тем самым и глобальные проблемы. Все это позволяет приступить к целенаправленному сосредоточению средств и усилий на природоохранных мероприятиях, на экологизации человеческой деятельности, на восстановлении нарушенных экосистем, на всех направлениях, которые были приняты на Глобальном экофоруме в Рио-де-Жанейро в 1992 г. и закреплены в его заключительных документах – в «Повестке дня на XXI век».

7.8. Управление охраной природной среды. Мониторинг и рекультивация земель [2]

В строительном деле важнейшей задачей является прогноз возможных нарушений природной среды и выработка рекомендаций по их устранению, т. е. нужна система управления природными процессами, сопровождающими строительство.

Важнейшим управляющим инструментом является нормативно правовой механизм, регламентирующий в данном случае экологические аспекты производственной, в том числе строительной деятельности. Следует отметить, что в инженерно-геологические изы-

Репозиторий БНТУ

скания входит как составной элемент – обязательное выполнение требования по охране и рекультивации среды (рис. 100).

Рис. 100. Отработанный карьер, превращенный в зону отдыха

Естественно, что только нормативными актами и контролем за их исполнением проблемы не решить. К сожалению, на данный момент самый эффективный из механизмов управления – экономический, в виде достижения прибыли, «выгодности» экологической деятельности в строительстве в полной мере у нас в стране, да и за рубежом пока работает недостаточно. Это является результатом недостаточности экологического образования и воспитания.

Основы мониторинга. В последние годы деятельность человека по охране природной среды резко активизировалась. В связи с этим появился мониторинг как новая отрасль науки. Мониторинг – это система наблюдений, оценки и прогноза состояния окружающей человека природной среды. Дополнительно к этому в практику вошел другой термин – литомониторинг, который применим к земной коре

Репозиторий ГГТУ

земли, иначе говоря, к геологической среде (рис. 101).

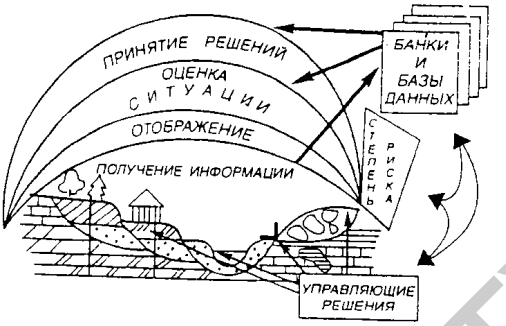

Рис. 101. Функциональная схема инженерно-геологического мониторинга

Основной целью литомониторинга является выявление нарушений в природной среде и ее сохранение. Система мониторинга органически вписывается в глобальный (мировой), региональные (областные) и местные (районные) уровни. В рамках государства мониторинг называют национальным. В городах создаются комитеты по охране природы.

Охрана земной коры складывается из трех основных проблем: охраны геологической среды; охраны почв; борьбы с инженерно-геологическими процессами.

Геологическая среда включает в себя рельеф и грунты земной коры. Строительство объектов серьезно нарушает геологическую среду. Ее также постоянно нарушает сама природа в силу глобальных процессов и явлений (землетрясения, вулканизм, речная эрозия и т.д.).

Охрана почв. Поверхностный почвенный слой земли играет важную роль в протекании жизненных процессов, являясь источником получения продуктов питания. За последнее пятидесятилетие на Земле потеряна пахотная площадь размером с полуостров Индостан, многие почвы теряют плодородие. Это во многом связано с отрицательным воздействием техногенной деятельности человека. Правовая охрана почв представляет совокупность законодательных мероприятий, направленных на эффективное и рациональное их использование, на всемерное сохранение и защиту от вредных воздействий. Перед строительством почвенный слой должен быть снят и размещен на другой территории. Строительство и эксплуатация объектов нередко приводит к возникновению инженерно-геологических процессов, серьезно нарушающих целостность земной коры (оползни, обвалы, провалы земной поверхности над подземными выработками, подтопление водой объектов и т.д.). В этих случаях требуется разработка способов защиты территорий, выбор которых диктуется местными геологическими условиями и природ-

Репозиторий БНТУ

ной обстановкой (рис. 102).

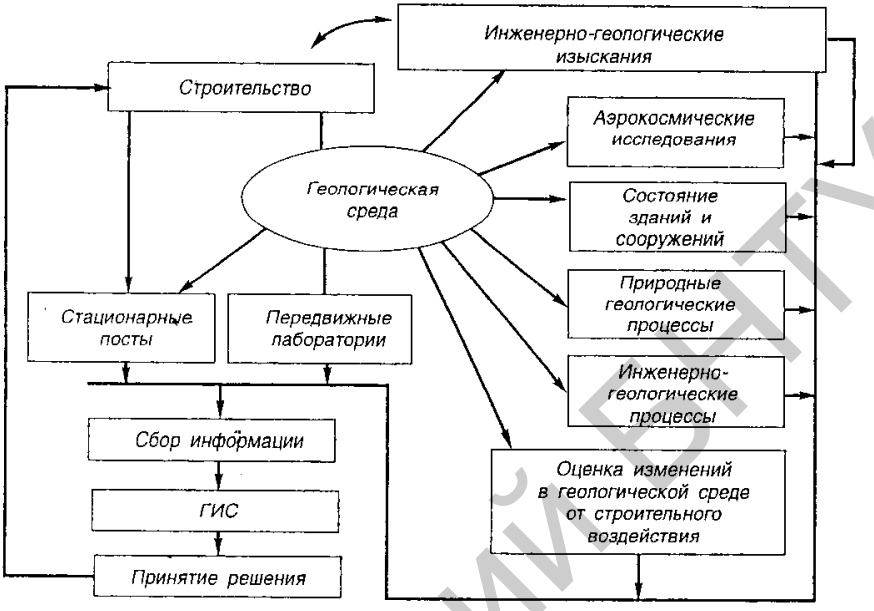

Рис. 102. Функциональная схема геоинформационной системы оценки влияния строительства на геологическую среду

Рекультивация земель – это всестороннее восстановление поверхности земной коры, нарушенной в процессе техногенной деятельности человека. Рекультивация бывает в основном двух видов: горно-техническая и биологическая.

Горно-техническая рекультивация. Основная ее задача – приведение нарушенной поверхности земли в порядок. Работа начинается с планировки территории и покрытия слоем почвы (до 15 см). На базе этого создается дерновый слой, который хорошо укрепляет поверхность земли, особенно склоны рельефа. При необходимости грунтовые воды регулируются дренажами. Принимаются меры по предотвращению появления инженерно-геологических процессов, создаются устойчивые откосы, упрочняется поверхность земли от размыва и развеивания ветром.

Биологическая рекультивация предусматривает освоение территории под жилую застройку или создание зон отдыха. После пла-

Репозиторий БНТУ

нировки поверхность покрывают почвой с последующей посадкой деревьев, кустарников и посевом сельскохозяйственных культур. В местах отработанных карьеров возможно создание водоемов (см. рис. 100).

Опыт работ по рекультивации показал следующее: 1) рекультивацию нарушенной территории по планировке земли необходимо проводить в кратчайшие сроки после завершения или в период строительства объекта; 2) откосы склонов и отвалов земли следует покрывать лесом или высевать многолетние травы. Для посадки леса поверхность земли необходимо выполаживать.

Задачи строителей по охране природной среды. При производстве работ, как и при эксплуатации объектов, нарушения природной среды практически неизбежны. Задача строителей сводится к тому, чтобы всегда находить средства и технические возможности для их устранения. Для этого в проекты строительства и на период эксплуатации объектов следует закладывать природопользовательные факторы, с помощью которых можно либо не допускать, либо сводить до минимума нарушения природной среды. Природоохранные мероприятия необходимо разрабатывать на основе опыта строительства, прогноза динамики развития и изменения земной поверхности в силу природных и техногенных факторов. О выполнении этих мероприятий в период строительства должно быть указано в акте на сдачу объектов в эксплуатацию.

Строители должны относиться к охране природы, как к важнейшей своей служебной обязанности, быть организатором и руководителем всех природоохранительных работ. При проектировании следует оценивать степень будущего нарушения природы. Возможны случаи, когда от строительства необходимо отказаться. Нежелательно занимать земли, пригодные для сельскою хозяйства, а целесообразно использовать непригодные или малопригодные. В период строительства необходимо особое внимание уделять сохранению почв. Грунты, образуемые при вскрытии котлованов, следует вовлекать в сферу строительства (отсыпка насыпей, планировка территорий и т. д.) и не делать отвалов. Не менее важным мероприятием по охране природы при строительстве и эксплуатации объекта является борьба с запылением воздуха, загрязнением водоемов и зеленых массивов, против усиления эрозии, отравления почв.

Репозиторий БНТУ

Литература

1. Ананьев В.П., Передельский Л.В. Инженерная геология и гидрогеология. – М.: Высшая школа, 1980.

2. Ананьев В.П., Потапов А.Д. Инженерная геология. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002.

3. Маслов Н.Н., Котов М.Ф. Инженерная геология. – М.: Госстройиздат, 1971.

4. Леггет Р. Города и геология. – М.: Мир, 1976.

5. СНБ 1.02.01-96. Инженерные изыскания для строительства. – Мн.: Минархстрой Республики Беларусь, 1996.

6. СНБ 2.03.01-98. Геофизика опасных природных воздействий. – Мн.: Минархстрой Республики Беларусь, 1998.

7 СНБ 5.01.01-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. – Мн.: Минархстрой Республики Беларусь, 1999.

8. Пособие П11-01 к СНБ 5.01.01-99. Геотехнические реконструкции оснований и фундаментов зданий и сооружений. – Мн.: Минархстрой Республики Беларусь, 2001.

9. СТБ 943093. Грунты. Классификация. – Мн.: Минархстрой Республики Беларусь, 1994.

10. СТБ 1164.0-99. Основания и фундаменты зданий и сооружений. Контроль качества и приемка работ. Параметры контроля и состав контролируемых показателей. – Мн.: Минархстрой Республики Беларусь, 1999.

11. ГОСТ 25100-95. Грунты. Классификация. – М.: Стройиздат, 1996.

12. ГОСТ 5686-94. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. МНТКС. – Мн.: Минархстрой Республики Беларусь, 2003.

13. ГОСТ 12071-84. Грунты. Отбор, упаковка, транспортировка и хранение образцов. – М.: Стройиздат, 1985.

14. ГОСТ 20522-96. Грунты. Метод статистической обработка результатов определений характеристик. - М.: Стройиздт, 1997.

15. ГОСТ 19912-81. Грунты. Метод полевого испытания динамическим зондированием. – М.: Стройиздат, 1982.

16. ГОСТ 20069-81. Методы полевого испытания статическим зондированием. – М.: Стройиздат, 1982.

Репозиторий БНТУ

17. ГОСТ 21.302-96. СПДС. Условные графические обозначения в документации по инженерно-геологическим изысканиям. – М.: Стройиздат, 1996.

18. ГОСТ 20276-99. Грунты. Методы полевого определения характеристик прочности и деформируемости. – М.: Стройиздат, 1999.

19. ГОСТ 30672-96. Грунты. Лабораторные испытания. Общие положения. – М.: Стройиздат, 1997.

20. ГОСТ 30672-99. Грунты. Полевые испытания. Общие положения. – М.: Стройиздат, 1999.

Репозиторий БНТУ

С о д е р ж а н и е

П р е д и с л о в и е. 3
1. ВВЕДЕНИЕ. 3
1.1. Цели, задачи и методологические основы дисциплины. . . . 3
1.2. Общие сведения о геологии, инженерной геологии и гидрогеологии. 6
1.3. Значение данных о горных породах (грунтах), используемых в качестве оснований сооружений и их среды. 10
2. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ И ИНЖЕНЕРНОЙ ГЕОЛОГИИ. 11
2.1. Состав и строение земной коры. 11
2.1.1. Химический состав земной коры. 13
2.1.2. Тепловой режим земной коры. 13
2.2. Породообразующие минералы. 13
2.2.1. Генетическая и химическая классификация минералов. . . 14
2.3. Горные породы. 16
2.3.1. Магматические породы. 17
2.3.2. Осадочные породы. 20
2.3.3. Метаморфические породы. 21
2.4. Основы геологической хронологии земной коры. 23
2.5. Процессы внутренней динамики Земли. 26
2.5.1. Тектонические движения. 26
2.5.2. Значение дислокаций для строительства. 28
2.5.3. Элементы строения земной коры и ее колебательные движения. 29
2.5.4. Геотектонические гипотезы. 31
2.6. Сейсмические явления. 31
2.6.1. Учет влияния землетрясений на устойчивость зданий и сооружений. 34
3. ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ И ЯВЛЕНИЯ НА ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. 36
3.1. Геологическая деятельность ветра (эоловые отложения – eoG_{IV}). 39
3.2. Геологическая деятельность атмосферных осадков (поверхностных текучих вод). 42
3.3. Геологическая деятельность рек. 46
3.4. Геологическая деятельность моря. 51

Репозиторий БНТУ

3.5. Геологическая деятельность в озерах, водохранилищах, болотах. 54
3.6. Геологическая деятельность ледников. 56
3.7. Движение грунтов на склонах рельефа местности. 60
3.8. Суффозионные и карстовые процессы. 69
3.9. Плывуны. 71
3.10. Просадочные явления в лессовых макропористых грунтах. 73
3.11. Деформации грунтов над горными выработками. 76
4. ИНЖЕНЕРНОЕ ГРУНТОВЕДЕНИЕ. 78
4.1. Общие сведения. 78
4.2. Основные категории состава, строения и состояния грунтов различного генезиса. 80
4.3. Строение грунтов. 85
4.4. Состояние грунтов. 87
4.5. Классификация грунтов. 88
4.6. Физико-механические свойства грунтов. 96
4.7. Методы определения свойств грунтов. 103
4.8. Характеристика классов грунтов. 109
4.9. Техническая мелиорация грунтов. 133
5. ОСНОВЫ ОБЩЕЙ ГИДРОГЕОЛОГИИ И ДИНАМИКИ ПОДЗЕМНЫХ ВОД. 139
5.1. Общие сведения о подземных водах. 139
5.2. Водные свойства грунтов. 141
5.3. Свойства и состав подземных вод. 142
5.4. Характеристика типов подземных вод. 148
5.5. Движение подземных вод. 154
5.6. Режим и запасы подземных вод. 173
5.7. Охрана подземных вод. 175
6. ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ РАБОТЫ ДЛЯ СТРОИТЕЛЬСТВА ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ. 178
6.1. Инженерно-геологические исследования для строительства. 178
6.2. Месторождения природных строительных материалов. . . 191
6.3. Инженерно-геологические изыскания для строительства зданий и сооружений. 194
7. РЕГИОНАЛЬНЫЕ ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ И ГИДРОГЕОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ, ОХРАНА ГЕОЛОГИЧЕСКОЙ СРЕДЫ БЕЛАРУСИ. 197

Репозиторий БНТУ

7.1. Региональные инженерно-геологические и гидрогеологические условия территории Беларуси. 197
7.2. Геологические условия. 198
7.3. Собственно ледниковые (моренные) отложения. 203
7.4. Водно-ледниковые (флювиогляциальные) отложения. . . . 204
7.5. Гидрогеологические условия. 206
7.6. Геологическое строение Минска и окрестностей. 208
7.7. Охрана природной среды как общечеловеческая задача. . . 209
7.8. Управление охраной природной среды. Мониторинг и рекультивация земель. 213
Литература. 219

Репозиторий БНТУ

Репозиторий БНТУ

Учебное издание

НИКИТЕНКО Михаил Иванович

ИНЖЕНЕРНО-ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ
ИЗЫСКАНИЯ
В СТРОИТЕЛЬСТВЕ

Учебное пособие

Редактор Л.Д. Мартынюк
Компьютерная верстка Н.А. Школьниковой
Подписано в печать 10.02.2005.
Формат 60x84 1/16. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 13,0. Уч.-изд. л. 10,2. Тираж 620. Заказ 33.
Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0056957 от 01.04.2004.
220013, Минск, проспект Ф.Скорины, 65.

Репозиторий БНТУ